



Kunnskap for en bedre verden

Testing av forskjellige parametere i 3D-printing betong.

*Påvirkning av parameterne i betong 3D-printing*

Mustafa Mohamed Hussein

Mustafa Sattar Hamid

Jawad Bazzak

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag - bygg

Innlevert: Juni 2021

Veileder: Mohammad H. Baghban

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

|  |   |                 |   |
|--|---|-----------------|---|
| Oppgavens tittel: Testing av forskjellige parameter i 3D betong printing<br><br>Påvirkning av parameterne i 3D-printing betong?  | Dato:10.06.2021<br><br>Antall sider: 622<br>Antall sider i vedlegg: 549 |                 |   |
|  | Masteroppgave:  | Bacheloroppgave | x |
| Navn:<br>Mustafa Hussein, Mustafa Sattar Hamid, Jawad Bazzak   |   |                 |   |
| Veileder:<br>Mohammad H. Baghban   |   |                 |   |
| <p><b>Sammendrag:</b></p> <p>Det er en økende etterspørsel i dagens marked for utvikling av betong teknologien, bruk av nye innovasjoner har ført til bygging av konstruksjoner med 3D-printing betong.</p> <p>Vår oppgaves problemstilling ser slik ut; Testing av forskjellige parametere på kvalitet av 3D-printing betong. For å besvare det spørsmålet har vi utført tester som kunne fortelle oss om bearbeidbarhet, holdbarhet, fasthet og styrke av betong blandingene. De testene fortalte oss, at alle de hadde sammenheng med hverandre i både flyttbarheten, styrken og dens evne for å ekstrudere.</p> <p>For å analysere de resultatene hadde vi diagrammer i både 2D og 3D og vi måtte lære litt om maskinlæring også. Vi brukte Matlab for å tegne de 3D-diagrammene og vanlig Excel for å tegne de 2D-diagrammer. Etter vi gjøre alle testene våre ferdig, vi tastet inn vårt resultat data i eksisterende Python koder for å forutse om de gir like gode eller tilnærmet resultat og vi brukte lineær regresjon og neural network. Vi fikk feil forutsi i noen av de resultatene vi har fått fra lineær regresjon og neural network i noen av de testene.</p> <p>Ved blanding av kalkstein, flyveaske, v/c eller matriks volum fant vi ut, oppførselen av hver enkelt parameter og hvilken av de gjøre blandingen harde eller flyttende. Det var noen få tester som ga oss gode resultater i flyttbarhet, styrke, fasthet og som kunne ekstruderes uten noe overflate feil. Miks navn SV4, med blanding mellom matriks volum og kalkstein ga de beste resultatene, da den hadde god flyttbarhet, styrke, og evnen til å ekstruderes.</p> |   |                 |   |

Stikkord:

|              |
|--------------|
| 3D           |
| Flyveaske    |
| Kalkstein    |
| Maskinlæring |

---

Mustafa Hussain

Mustafa Hamid

Jawad Bazzak

(sign.)

## **Forord**

Det er vår avsluttende bachelor oppgave ved studiet bygningsingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet (NTNU), avdeling Gjøvik.

Oppgaven handler om å teste forskjellige parameter og se oppførselen dem hver for seg selv og i forhold til hverandre, i tillegg utvikler vi en maskinlærings modell som kan forutse resultater for de forskjellige testene uten å utføre laboratoriet forsøk.

Hensikten er å involvere teknologien i betong utvikling prosess og bidra til bærekraftig utvikling innenfor bygge bransjen.

## **Takk**

Vi vil takke vår veileder Mohammad H. Baghban for gode innspilling og veiledning.

Vi vil også takke Arman Montazerian, og Mohammad Abedi begge PHD studenter for alle hjelpen og veiledningen.

I tillegg takker vi Tor kristoffer for hjelpen vi fikk i labarotoriet.

## **Abstract**

There is a growing demand in today's market for the development of concrete technology, the use of new innovations has led to the construction of structures with 3D concrete printing.

The problem of our thesis looks like this; Testing of various parameters on the quality of 3D-printing concrete. To answer that question, we performed tests that could tell us about the workability, durability, firmness, and strength of the concrete mixtures. Those tests told us that all of them were related to each other in terms of flowability, strength and its ability to extrude.

To analyze those results, we had diagrams in both 2D, and 3D and we had to learn a little about machine learning as well. We used Matlab to draw the 3D diagrams and regular Excel to draw the 2D diagrams. After we finished all our tests, we entered our result data into existing Python codes to predict whether they would give us equal or approximate results and we used linear regression and neural network. We had some prediction errors from linear regression and neural network for some of the tests.

When mixing limestone, fly ash,  $v / c$  and matrix volume, we found out, the behavior of each parameter and which of them make the mixture hard or moving. There were a few tests that gave us good results in mobility, strength, firmness and that could be extruded without any surface defects. Mix name SV4, with a mixture of matrix volume and limestone gave the best results, as it had good portability, strength, and the ability to be extruded.

## Innholdsfortegnelse

|   |    |
|---|----|
| Forord .....  | 4  |
| Abstract .....  | 5  |
| Innholdsfortegnelse .....                               | 6  |
| Figurligste.....  | 12 |
| Tabell liste .....                                      | 15 |
| 1 Innledning.....                                       | 18 |
| 1.1 Bakgrunn .....                                      | 18 |
| 1.2 Problemstilling.....                                | 19 |
| 1.3 Omfang og avgrensning.....                          | 19 |
| 1.4 Samfunnsperspektiv.....                             | 20 |
| 2 Teori .....   | 21 |
| 2.1 Introduksjon til 3D-printer.....                    | 21 |
| 2.2 Hvordan fungerer en 3D-printer? .....               | 24 |
| 2.3 Python.....   | 25 |
| 2.4 Betong.....   | 26 |
| 2.5 Generelt om sement .....                            | 27 |
| 2.6 Flyveaske .....                                     | 29 |
| 2.7 Superplastiseringsmidler (Sp).....                  | 29 |
| 2.8 V/C.....  | 30 |
| 2.9 Kalkstein LS .....                                  | 30 |
| 3 Proporsjonering og materialer .....                   | 32 |
| 3.1 Partikkel- matriks modell .....                     | 32 |
| 3.2 Fremgangsmåte for proporsjonering .....             | 33 |
| 3.2.1 Fasthetskriteriet .....                           | 33 |
| 3.3 Bestandighetskriteriet .....                        | 34 |
| 3.4 Materialer.....                                     | 34 |
| 3.4.1 Valg av bindingsmiddel og tilsetningsstoffer..... | 34 |
| 3.4.2 Valg av tilslaget sammensetning som sand.....     | 36 |
| 3.5 Sikteanalyse av sand 0 – 8 mm.....                  | 36 |
| 3.6 Pyknometer test .....                               | 39 |
| 3.7 Fukt måling.....                                    | 41 |
| 3.8 Valg av parameter.....                              | 41 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.8.1 | Matriks volum .....                           | 41 |
| 3.8.2 | Flyveaske.....                                | 42 |
| 3.8.3 | Kalkstein.....                                | 42 |
| 3.8.4 | V/C .....                                     | 42 |
| 3.9   | Resept .....                                  | 43 |
| 4     | Metoder .....                                 | 44 |
| 4.1   | Blandingsprosess .....                        | 44 |
| 4.2   | Støpning.....                                 | 44 |
| 4.3   | Materialer til prosessen.....                 | 44 |
| 4.4   | Pre tester .....                              | 45 |
| 4.4.1 | Flow table test .....                         | 45 |
| 4.4.2 | Sylinder test.....                            | 47 |
| 4.4.3 | Green Strength test .....                     | 47 |
| 4.4.4 | Trykkfasthet test.....                        | 48 |
| 4.4.5 | Bøyefasthet test .....                        | 49 |
| 4.5   | Hoved tester.....                             | 50 |
| 4.5.1 | Flow table test .....                         | 50 |
| 4.5.2 | Sylinder test.....                            | 51 |
| 4.5.3 | Green strength test (0 og 15) minutter .....  | 51 |
| 4.5.4 | Extrudability test .....                      | 52 |
| 4.5.5 | Penetrometer test .....                       | 52 |
| 4.6   | Maskinlæring .....                            | 53 |
| 4.6.1 | Lineær regresjon.....                         | 53 |
| 4.6.2 | Neural Network .....                          | 54 |
| 5     | Resultater.....                               | 55 |
| 5.1   | Kalkstein.....                                | 55 |
| 5.1.1 | Flow table resultat .....                     | 55 |
| 5.1.2 | Sylinder resultat.....                        | 56 |
| 5.1.3 | Green strength resultat (0 min, 15 min) ..... | 56 |
| 5.1.4 | Extrudability resultat .....                  | 57 |
| 5.1.5 | Penetrometer resultat.....                    | 57 |
| 5.1.6 | Bøyefasthet resultat (7 dager).....           | 59 |
| 5.1.7 | Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager .....   | 60 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.2   | Matriks volum.....                               | 61 |
| 5.2.1 | Flow table test resultat.....                    | 61 |
| 5.2.2 | Sylinder resultat.....                           | 62 |
| 5.2.3 | Green strength resultat (0 min, 15 min) .....    | 62 |
| 5.2.4 | Extrudability resultat .....                     | 63 |
| 5.2.5 | Penetrometer resultat.....                       | 63 |
| 5.2.6 | Bøyefasthet resultat (7 dager).....              | 65 |
| 5.2.7 | Trykkfasthet resultat (7 og 28 dager) .....      | 66 |
| 5.3   | V/C.....   | 67 |
| 5.3.1 | Flow table resultat .....                        | 67 |
| 5.3.2 | Sylinder resultat.....                           | 68 |
| 5.3.3 | Green strength resultat (5 og 15) minutter ..... | 69 |
| 5.3.4 | Extrudability resultat .....                     | 69 |
| 5.3.5 | Penetrometer resultat.....                       | 70 |
| 5.3.6 | Bøyefasthet resultat (7 dager).....              | 71 |
| 5.3.7 | Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager .....      | 72 |
| 5.4   | Flyveaske .....                                  | 73 |
| 5.4.1 | Flow table resultat .....                        | 73 |
| 5.4.2 | Sylinder resultat.....                           | 74 |
| 5.4.3 | Green strength resultat .....                    | 74 |
| 5.4.4 | Extrudability resultat .....                     | 75 |
| 5.4.5 | Penetrometer resultat.....                       | 75 |
| 5.4.6 | Bøyefasthet resultat 7 dager .....               | 77 |
| 5.4.7 | Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager .....      | 77 |
| 5.5   | Ekstra kalkstein (LS) .....                      | 78 |
| 5.5.1 | Flow table resultat .....                        | 79 |
| 5.5.2 | Sylinder resultat.....                           | 79 |
| 5.5.3 | Green strength resultat .....                    | 80 |
| 5.5.4 | Extrudability resultat .....                     | 80 |
| 5.5.5 | Penetrometer resultat.....                       | 81 |
| 5.5.6 | Bøyefasthet resultat 7 dager .....               | 82 |
| 5.5.7 | Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager .....      | 83 |
| 5.6   | Matriks volum (MV) - V/C .....                   | 84 |



|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 5.6.1  | Flow table resultat .....                   | 84  |
| 5.6.2  | Sylinder resultat.....                      | 85  |
| 5.6.3  | Green strength resultat (0 og 15 min).....  | 86  |
| 5.6.4  | Extrudability resultat .....                | 87  |
| 5.6.5  | Penetrometer resultat.....                  | 88  |
| 5.6.6  | Bøyefasthet resultat 7 dager .....          | 90  |
| 5.6.7  | Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager ..... | 91  |
| 5.7    | Kalkstein (LS) - Matriks volum (MV) .....   | 93  |
| 5.7.1  | Flow table resultat .....                   | 93  |
| 5.7.2  | Sylinder resultat.....                      | 94  |
| 5.7.3  | Green strength resultat (0 og 15) min.....  | 94  |
| 5.7.4  | Extrudability test .....                    | 95  |
| 5.7.5  | Penetrometer resultat.....                  | 96  |
| 5.7.6  | Bøyefasthet resultat .....                  | 97  |
| 5.7.7  | Trykkfasthet resultat (7 og 28 dager) ..... | 98  |
| 5.8    | Flyveaske (FA) – Matriks volum (MV) .....   | 99  |
| 5.8.1  | Flow table resultat .....                   | 99  |
| 5.8.2  | Sylinder resultat.....                      | 100 |
| 5.8.3  | Green strength resultat (0 og 15 min).....  | 100 |
| 5.8.4  | Extrudability resultat .....                | 101 |
| 5.8.5  | Penetrometer resultat.....                  | 102 |
| 5.8.6  | Bøyefasthet resultat (7 dager).....         | 103 |
| 5.8.7  | Trykkfasthet resultat (7 og 28 dager) ..... | 104 |
| 5.9    | Flyveaske (FV) – Kalkstein (LS).....        | 105 |
| 5.9.1  | Flow table resultat .....                   | 105 |
| 5.9.2  | Sylinder resultat.....                      | 106 |
| 5.9.3  | Green strength resultat (0 og 15min).....   | 106 |
| 5.9.4  | Extrudability resultat .....                | 107 |
| 5.9.5  | Penetrometer resultat.....                  | 108 |
| 5.9.6  | Bøyefasthet resultat (7 dager).....         | 109 |
| 5.9.7  | Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager ..... | 110 |
| 5.10   | Kalkstein (LS) – V/C (WC) .....             | 111 |
| 5.10.1 | Flow table resultat .....                   | 111 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 5.10.2 | Sylinder resultat.....                      | 112 |
| 5.10.3 | Green strength resultat (0 og 15min).....   | 112 |
| 5.10.4 | Extrudability resultat .....                | 113 |
| 5.10.5 | Penetrometer resultat .....                 | 114 |
| 5.10.6 | Bøyefasthet resultat 7 dager .....          | 115 |
| 5.10.7 | Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager ..... | 116 |
| 5.11   | Flyveaske (FA) – V/C (WC).....              | 117 |
| 5.11.1 | Flow table resultat .....                   | 117 |
| 5.11.2 | Sylinder resultat.....                      | 118 |
| 5.11.3 | Green strength resultat (0 og 15) min.....  | 118 |
| 5.11.4 | Extrudability resultat .....                | 119 |
| 5.11.5 | Penetrometer.....                           | 120 |
| 5.11.6 | Bøyefasthet resultat 7 dager .....          | 121 |
| 5.11.7 | Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager ..... | 122 |
| 5.12   | Resultater av maskinlærning .....           | 123 |
| 5.12.1 | Flow table resultater .....                 | 123 |
| 5.12.2 | Sylinder resultater .....                   | 124 |
| 5.12.3 | Green strength resultater .....             | 125 |
| 5.12.4 | Penetrometer.....                           | 126 |
| 5.12.5 | Trykkfasthet 7 dager.....                   | 127 |
| 5.12.6 | Bøyefasthet 7 dager .....                   | 128 |
| 6      | Diskusjon og analyse.....                   | 129 |
| 6.1    | Flow table analyse .....                    | 129 |
| 6.2    | Sylinder analyse.....                       | 134 |
| 6.3    | Green strength analyse.....                 | 139 |
| 6.4    | Extrudability analyse .....                 | 144 |
| 6.5    | Penetrometer analyse .....                  | 146 |
| 6.6    | Bøy og trykk analyse .....                  | 149 |
| 6.7    | Analyse av maskinlærning .....              | 153 |
| 6.7.1  | Flow table resultater .....                 | 153 |
| 6.7.2  | Sylinder resultater .....                   | 154 |
| 6.7.3  | Green strength resultater .....             | 155 |
| 6.7.4  | Penetrometer.....                           | 157 |

|       |                           |     |
|-------|---------------------------|-----|
| 6.7.5 | Trykkfasthet 7 dager..... | 158 |
| 6.7.6 | Bøyefasthet 7 dager.....  | 159 |
| 7     | Konklusjon .....          | 160 |
|       | Vedlegg .....             | 161 |
|       | Litteraturliste .....     | 162 |

# Figurligste

|   |    |
|---|----|
| Figur 1 Bru i Nederland .....   | 22 |
| Figur 2 3D-printet metall bru .....                                     | 23 |
| Figur 3 3D-printet hus i USA .....                                      | 23 |
| Figur 4 3D-printet Bru i kina.....                                      | 24 |
| Figur 5 Sement produksjon .....   | 28 |
| Figur 6 Flyveaske .....   | 29 |
| Figur 7 Standard FA-Sement.....   | 35 |
| Figur 8 Siktanalyse testen .....  | 37 |
| Figur 9 Pyknometer test .....   | 40 |
| Figur 10 Flow table .....   | 46 |
| Figur 11 Flow table i forhold til kalkstein.....                        | 55 |
| Figur 12 Sylinder i forhold til kalkstein .....                         | 56 |
| Figur 13 Green strength eller 0 og 15min .....                          | 57 |
| Figur 14 Penetrometer resultat i forhold til kalkstein .....            | 58 |
| Figur 15 bøy resultat etter 7 dager i LS.....                           | 59 |
| Figur 16 trykk resultat etter 7 dager I LS .....                        | 60 |
| Figur 17 trykk resultat etter 28 dager .....                            | 60 |
| Figur 18 Flow table resultat i MV .....                                 | 61 |
| Figur 19 Sylinder resultat i MV .....                                   | 62 |
| Figur 20 Green strength resultat etter 0 og 15 min i MV .....           | 62 |
| Figur 21 Penetrometer resultat i MV.....                                | 64 |
| Figur 22 Bøyefasthet resultat etter 7 dager i MV.....                   | 65 |
| Figur 23 Trykk resultat etter 7 dager i MV .....                        | 66 |
| Figur 24 Trykk resultat etter 28 dager i MV .....                       | 66 |
| Figur 25 Flow table resultat i V/C.....                                 | 67 |
| Figur 26 sylinder resultat i forhold til V/C.....                       | 68 |
| Figur 27 Green strenght resultat etter 0 og 15 min forhold til V/C..... | 69 |
| Figur 28 penetrometer resultat i forhold til V/C .....                  | 70 |
| Figur 29 Bøyefasthet etter 7 dager i V/C .....                          | 71 |
| Figur 30 Trykkfasthet resultat etter 7 dager i V/C .....                | 72 |
| Figur 31 Trykk resultat etter 28 dager i V/C.....                       | 72 |
| Figur 32 Flow table resultater i FA .....                               | 73 |
| Figur 33 Sylinder resultat i FA.....                                    | 74 |
| Figur 34 Green strength etter 0 og 15 min i FA .....                    | 74 |
| Figur 35 Penetrometer resultat i FA.....                                | 76 |
| Figur 36 Bøy resultat etter 7 dager i FA.....                           | 77 |
| Figur 37 Trykk resultat etter 7 dager i FA .....                        | 77 |
| Figur 38 Trykk resultat etter 28 dager i FA .....                       | 78 |
| Figur 39 Flow table resultat i LS.....                                  | 79 |
| Figur 40 sylinder resultat i forhold til LS.....                        | 79 |
| Figur 41 Green strength resultat i LS .....                             | 80 |

|  |     |
|--|-----|
| Figur 42 penetrometer resultat i forhold til kalkstein.....                                | 81  |
| Figur 43 Bøy resultat etter 7dager i forhold til kalkstein .....                           | 82  |
| Figur 44 Trykk resultat etter 7 dager i forhold til kalkstein .....                        | 83  |
| Figur 45trykk resultat etter 28 dager i forhold til kalkstein .....                        | 83  |
| Figur 46 Flow table resultat MV – V/C .....  | 84  |
| Figur 47sylinder resultat MV – V/C .....   | 85  |
| Figur 48 Green strenght i 0 min resultat MV – V/C .....                                    | 86  |
| Figur 49 Green strenght 15 min resultat i forhold til Matrix volum – V/C.....              | 87  |
| Figur 50 penetrometer i forhold til VC .....   | 89  |
| Figur 51 bøyefasthet resultat i forhold til Matrix volum – V/C .....                       | 91  |
| Figur 52 trykkfasthet resultat 7 dager i forhold til Matrix volum – V/C.....               | 92  |
| Figur 53 trykkfasthet resultat 28 dager i forhold til Matrix volum – V/C .....             | 92  |
| Figur 54 flow table resultat i forhold til Matrix volum – kalkstein.....                   | 93  |
| Figur 55sylinder resultat i forhold til matrix volum - kalksteinn.....                     | 94  |
| Figur 56 Green strenght resultat etter 0 min i forhold til matrix volum - kalksteinn.....  | 94  |
| Figur 57 green strenght resultat etter 15 min i forhold til matrix volum – kalksteinn..... | 95  |
| Figur 58 penetrometer resultat i forhold til matrix volum - kalkstein.....                 | 96  |
| Figur 59 bøyefasthet resultat etter 7 dager i forhold til matrix volum - kalksteinn .....  | 97  |
| Figur 60 trykkfasthet resultat etter 7 dager i forhold til matrix volum - kalkstein.....   | 98  |
| Figur 61 trykkfasthet resultat etter 28 dager i forhold til matrix volum - kalkstein.....  | 98  |
| Figur 62 flow table resultat i forhold til matrix volum - flyveaske.....                   | 99  |
| Figur 63 sylinder resultat i forhold til matrix volum - flyveaske .....                    | 100 |
| Figur 64 green strenght resultat etter 0 min i forhold til matrix volum - flyveaske.....   | 100 |
| Figur 65 green strenght resultat etter 15 min i forhold til matrix volum - flyveaske.....  | 101 |
| Figur 66 Penetrometer resultat i forhold til matriks volum - flyveaske .....               | 102 |
| Figur 67 Bøyefasthet resultat etter 7 dager i forhold til matriks volum - flyveaske .....  | 103 |
| Figur 68 trykkfasthet resultat etter 7 dager i forhold til matriks volum og flyveaske..... | 104 |
| Figur 69 trykkfastet resultat eetter 28 dager i forhold til marix volum og flyveaske ..... | 104 |
| Figur 70 Flow table resultat i forhold til kalkstein - flyveaske .....                     | 105 |
| Figur 71 Sylinder resultat i forhold til kalkstein - flyveaske.....                        | 106 |
| Figur 72 Green strength resultat etter 0 min i forhold til kalkstein - flyveaske .....     | 106 |
| Figur 73 Green strength resultat etter 15 min i forhold til kalkstein - flyveaske .....    | 107 |
| Figur 74 Penetrometer resultat i forhold til kalkstein - flyveaske.....                    | 108 |
| Figur 75 Bøyefasthet resultat i forhold til kalkstein - flyveaske .....                    | 109 |
| Figur 76 trykk resultat etter 7 dager i forhold til kalkstein - flyveaske.....             | 110 |
| Figur 77 trykk resultat etter 28 dager i forhold til kalkstein - flyveaske.....            | 110 |
| Figur 78 flow table resultat i forhold til kalkstein - WC.....                             | 111 |
| Figur 79 sylinder resultat forhold til kalkstein - WC .....                                | 112 |
| Figur 80 green strenght resultat etter 0 min forhold til kalkstein - WC.....               | 112 |
| Figur 81 green strenght resultat etter 15min i forhold til kalkstein - WC.....             | 113 |
| Figur 82 penetrometer resultat forhold til kalkstein - WC .....                            | 114 |
| Figur 83 bøyefasthet resultat etter 7 dager forhold til kalkstein - WC.....                | 115 |
| Figur 84 trykk resultat etter 7dager forhold til kalkstein - WC.....                       | 116 |
| Figur 85 trykk resultat etter28 dager forhold til kalkstein - WC.....                      | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| Figur 86 flow table resultat i forhold til flyveaske - WC .....                | 117 |
| Figur 87 sylinder resultat i forhold til flyveaske - WC .....                  | 118 |
| Figur 88 green strength resultat etter 0 min forhold til flyveaske - WC .....  | 118 |
| Figur 89 green strenght resultat etter 15min forhold til flyveaske - WC .....  | 119 |
| Figur 90 penetrometer i forhold til FA-VC .....                                | 120 |
| Figur 91 Bøyefasthet resultat etter 7 dager i forhold til flyveaske - WC ..... | 121 |
| Figur 92 trykk resultat etter 7 dager i forhold til flyveaske – WC .....       | 122 |
| Figur 93 trykk resultat etter 28 dager i forhold til flyveaske – WC .....      | 122 |

# Tabell liste

|   |     |
|---|-----|
| Tabell 1 Fordeler og ulemper med 3_D printer betong.....                  | 21  |
| Tabell 2 Viktigste oksidene i Portlandsement.....                         | 28  |
| Tabell 3 Materiale og $\lambda_q$ .....                                   | 33  |
| Tabell 4 Trykkfasthetsklasser for normal betong og tungbetong.....        | 34  |
| Tabell 5 Resultat på sikteanalyse testen .....                            | 38  |
| Tabell 6 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen.....   | 41  |
| Tabell 7 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen.....   | 42  |
| Tabell 8 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen.....   | 42  |
| Tabell 9 Mengde av materialet i V/C .....                                 | 42  |
| Tabell 10 mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen ..... | 43  |
| Tabell 11 Materialer til LS .....   | 55  |
| Tabell 12 Penetrometer resultat.....                                      | 58  |
| Tabell 13 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i MV .....           | 61  |
| Tabell 14 Penetrometer resultat.....                                      | 63  |
| Tabell 15 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i V/C .....          | 67  |
| Tabell 16 penetrometer resultat .....                                     | 70  |
| Tabell 17 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i FA.....            | 73  |
| Tabell 18 Penetrometer resultat i FA .....                                | 75  |
| Tabell 19 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i LS .....           | 78  |
| Tabell 20 penetrometer resultat .....                                     | 81  |
| Tabell 21 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen.....  | 84  |
| Tabell 22 penetrometer resultat.....                                      | 88  |
| Tabell 23 tabellen viser mengde tilsetningstoffer for hver miks .....     | 93  |
| Tabell 24 penetrometer resultat .....                                     | 96  |
| Tabell 25 mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen ..... | 99  |
| Tabell 26 penetrometer resultat.....                                      | 102 |
| Tabell 27 mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen ..... | 105 |
| Tabell 28 penetrometer resultat.....                                      | 108 |
| Tabell 29 mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen ..... | 111 |
| Tabell 30 penetrometer resultat .....                                     | 114 |
| Tabell 31 mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen ..... | 117 |
| Tabell 32 penetrometer resultat.....                                      | 120 |
| Tabell 33 Maskinlærling flow table resultat .....                         | 123 |
| Tabell 34 maskinlærling sylinter resultat .....                           | 124 |
| Tabell 35 Maskinlærling Green strength resultat .....                     | 125 |
| Tabell 36 Maskinlærling Green strength resultat .....                     | 125 |
| Tabell 37 Maskinlærling penetrometer resultat .....                       | 126 |
| Tabell 38 Maskinlærling trykkfasthet 7dager .....                         | 127 |
| Tabell 39 Maskinlærling bøyfasthet 7dager.....                            | 128 |
| Tabell 40 flow table analyse for LS .....                                 | 129 |
| Tabell 41 flow table analyse for MV .....                                 | 130 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabell 42 flow table analyse for V/C .....             | 130 |
| Tabell 43 flow table analyse for FA.....               | 131 |
| Tabell 44 flow table analyse for MV-VC.....            | 131 |
| Tabell 45 flow table analyse for MV-LS .....           | 132 |
| Tabell 46 flow table analyse for FA-MV .....           | 132 |
| Tabell 47 flow table analyse for FA-LS.....            | 133 |
| Tabell 48 flow table analyse for V/C-LS .....          | 133 |
| Tabell 49 flow table analyse for V/C-FA.....           | 134 |
| Tabell 50 sylindere analyse for LS .....               | 134 |
| Tabell 51 sylindere analyse for MV.....                | 135 |
| Tabell 52 sylindere analyse for V/C .....              | 135 |
| Tabell 53 sylindere analyse for FA .....               | 136 |
| Tabell 54 sylindere analyse for MV-V/C.....            | 136 |
| Tabell 55 sylindere analyse for LS-MV.....             | 137 |
| Tabell 56 sylindere analyse for FA-MV .....            | 137 |
| Tabell 57 sylindere analyse for FA-LS .....            | 138 |
| Tabell 58 sylindere analyse for LS-VC.....             | 138 |
| Tabell 59 sylindere analyse for FA-VC .....            | 139 |
| Tabell 60 green strength analyse i LS .....            | 139 |
| Tabell 61 Green strength analyse for MV .....          | 140 |
| Tabell 62 Green strength analyse for V/C.....          | 140 |
| Tabell 63 Green strength analyse for FA .....          | 141 |
| Tabell 64 Green strength analyse for MV-V/C.....       | 141 |
| Tabell 65 Green strength analyse for MV-LS .....       | 142 |
| Tabell 66 Green strength analyse for FA-MV .....       | 142 |
| Tabell 67 Green strength analyse for FA-LS .....       | 142 |
| Tabell 68 Green strength analyse for LS-V/C.....       | 143 |
| Tabell 69 Green strength analyse for FA-V/C .....      | 143 |
| Tabell 70 Alle extrudability resultat med analyse..... | 144 |
| Tabell 71 Alle Penetrometer resultat med analyse.....  | 146 |
| Tabell 72 Trykk og bøy analyse for LS.....             | 149 |
| Tabell 73 Trykk og bøy analyse for MV .....            | 149 |
| Tabell 74 Trykk og bøy analyse for V/C.....            | 150 |
| Tabell 75 Trykk og bøy analyse for FA .....            | 150 |
| Tabell 76 Trykk og bøy analyse for MV-VC.....          | 150 |
| Tabell 77 Trykk og bøy analyse for LS-MV.....          | 151 |
| Tabell 78 Trykk og bøy analyse for FA-MV .....         | 151 |
| Tabell 79 Trykk og bøy analyse for FA-LS .....         | 152 |
| Tabell 80 Trykk og bøy analyse for LS-VC.....          | 152 |
| Tabell 81 Trykk og bøy analyse for FA-VC .....         | 153 |
| Tabell 82 maskinlærling flow table resultat.....       | 153 |
| Tabell 83 Maskinlærling sylindere resultat.....        | 154 |
| Tabell 84 Maskinlærling Green strength resultat.....   | 155 |
| Tabell 85 Maskinlærling Green strength resultat.....   | 156 |



|   |     |
|---|-----|
| Tabell 86 Maskinlærling penetrometer resultat .....       | 157 |
| Tabell 87 Maskinlærling trykfasthet 7dager .....          | 158 |
| Tabell 88 Maskinlærling bøyefasthet 7dager resultat ..... | 159 |

# 1 Innledning

Den fremtidige bygge bransjen involverer 3D-print teknologi. Denne rapporten ser på de forskjellige parameterne som har påvirkning på 3D betong printing. For å utforske dette ble det gjennomført flere forskjellige tester i Mustad laboratorium ved NTNU Gjøvik med de forskjellige parameterne. Vi forklarer i rapporten bakgrunnen for valg av tema, prosjektformålet med en presentasjon av forskningsspørsmålene, omfanget for forskningen, og en oversikt over rapportstrukturen.

## 1.1 Bakgrunn

Bygg og konstruksjon industrien er en av de største sektorer i verdens økonomien (Bos, Wolfs, Ahmed, & Salet, 2016). Siden oppdagelsen av moderne betong i 1800 tallet, har mange forskere prøvde å automatisere betong konstruksjoner uten å lykkes. Betong som byggemateriale fremstår som ganske enkelt, men har mange skjulte utfordringer. Det har blitt gjort stort fremskritt innen betong konstruksjonsteknologier gjennom årene i både utvikling innen betongpumpeteknologi og blandeteknologi.

Den nåværende bygge bransjen har alvorlige problemer med bærekraft og gjeldende konstruksjonsmetoder og materialer er ikke miljøvennlig. Hele konstruksjon prosess slipper ut store mengder klimagasser og bruker store mengder energi.

Det var Thomas Edison som prøvde å konstruere en maskin som kunne bygge en betong hus som var en vel dokumentert feil på grunn av teknologiske utfordringer.

Det har blitt mer etterlyst for bruk av teknologi og gjøre det enklere, og med den raske industrialisering framgangen har de nå værende problemer som mangel på faglærte arbeidere, utmattelse av ressurser og sikkerhets spørsmål begrenset utviklingen i bygge bransjen.

Tidligere studier (Tay, Li, & Tan, 2019) har vist at konstruksjon med 3D-printer kan redusere 30 – 60 % av avfallet. Sementbaserte produksjonsprosesser for tilsetningsstoffer, ofte referert til som 3D betong printing, har vært under utvikling de siste 10 årene og verden over er for tiden engasjert i forskningen. 3D-printing fjerner behovet for konvensjonelle former ved å plassere eller strøkke spesifikke volumer av materiale i lag ved hjelp av en datamaskinstyrt posisjoneringsprosess.

3D-printing av konstruksjoner har den med seg nye og spennende muligheter samtidig har den sine utfordringer. Med 3D-betong-printer, tid og kostander blir sunket til en stor grad fordi den er med på å redusere oppgavene på konstruksjonsplassene; det vil si at det tar kortere tid til å bygge og er billigere også siden maskinen blir justert på den nøyaktige mengden på betong man trenger.

Grunnen vi valgte dette tema er fordi det var av stor interesse med tanke på printing av en hel konstruksjon ved hjelp av en 3D-maskin. Teknologien har kommet så langt frem at vi taster inn data i en maskin og den bygger hele konstruksjonen med nøyaktighet.

## **1.2 Problemstilling**

Problemstillingen vår er påvirkning av forskjellige parametere på kvalitet av betong 3D-printing. Dette kommer vi til å ha mest vekt på og for å finne gode resultater for problemstillingen skal vi gjennomføre noen laboratoriet tester som skal gi svar til bearbeidbarhet, holdbarhet og styrke av betong blandingene. Vi skal utføre flow tabel test, sylinder test, green strength test, penetrometer test, extrudability test og trykk og bøyestrekfasthet test for hver enkelt av de parametere.

Vi skal teste fire parametere, flyveaske, v/c, matriks volum og kalkstein og se hvordan hver av de oppfører seg og i forhold til hverandre.

Noen forskningsspørsmål i rapporten vår blir som følger;

Hvilken måte påvirker parametere på kvaliteten til betongen?

Har noen av de testene sammenheng med hverandre?

## **1.3 Omfang og avgrensning**

For at 3D-print betong skal brukes i bygge bransjen, er det flere krav som er nødvendige og i denne oppgaven skal vi identifisere påvirkning av de forskjellige parametere på en 3D-printer-betong. Vi skal gjøre flere laboratoriet forsøk med de nødvendige betong materialer; sement, sand, vann og pozzolaner for å finne ut hvordan de påvirker betongens bearbeidbarhet, holdbarhet og styrke. Vi skal bruke forskjellige test metoder for å finne en type betong som er best egnet for en 3D-printer; sylinder test, flow table test,

green strength test, penetrometer test, extrudability test og trykk og bøyefasthet. Vi skal finne en betong som er flytbar og kommer ut av røret til 3D-printeren og samtidig er den også sterk nok at den holder seg over flere lag.

Forskningen i denne oppgaven er satt søkelys på 3D-printing av betong, og hvordan de forskjellige materialene påvirker betongen. Temaet er begrenset til å svare spesifikt på de forskningsspørsmålene vi har under. Vi har hatt noen tøffe utfordringer med tanke på COVID-19 pandemien som gjøre at noen av varene vi bestilte kom ikke i tidsnok eller delvis kom seint og vi måtte gjøre det beste ut av situasjonen.

## **1.4 Samfunnsperspektiv**

Sement er et av de viktigste materialene i produksjon av betong, men det regnes som et av de mest skadelige stoffene for miljøet gjennom å bruke drivstoff for å drivesement fabrikker og forbrenning av kalk som betraktes som råvarer for sement(Maage & NORHEIM, 2015).

Sement står for ca. 5% av CO<sub>2</sub> utslipp i verden, og den fører til et miljøproblemer som global oppvarming og andre helseproblemer som kan være skadelig for mennesker.

Det er noen andre alternative som kan være løsning til å redusere bruk av sementklinker som for eksempel hydrauliske bindemidler som slagg eller pozzolaner som flyve aske og silikastøv og alle disse materialene er industriavfall og inneholder høy andel av CO<sub>2</sub>, så bruken av dette avfallet i produksjon av betong vil bidrar med å redusere CO<sub>2</sub> i verden.

For å redusere CO<sub>2</sub> utslipp er noen løsninger funnet og en av disse løsninger er CO<sub>2</sub> fang system ,hvor CO<sub>2</sub> endre formen fra gass til strøm og lagers i geologiske reservoar under jorda. I Norge så har Norcem forsøkte å bruke denne teknologien, der starten på denne forskningen var i 2013 og slutten var i 2017, og de har testet fire forskjellige CO<sub>2</sub> fangesystemer i løpet av de 4 årene. Det er mange teorier og forskninger under utvikling for å redusere karbon nivået i naturen, men dette krever tid, innsats og samarbeid fra alle for å bevare miljøet.

NS-IO 14001/2/ er miljøstyringssystem som all betong bedrifter i Norge må følge for å redusere CO<sub>2</sub> utslipp. Fabrikkbetongforeningen (FABEKO) har utviklet EPD (environmental product declaration) for ferdig betong, hvor den viser hvor mye energi som blir brukt fra produksjon til levering av betongen.

# 2 Teori

## 2.1 Introduksjon til 3D-printer

Bygg bransjen rundt hele verden er under stor forandring med større digitalisering i alle felt. De fremskrittene innenfor bygg bransjen er stort sett påvirket av forandringene i verden, dette i følge av: klimaforandring, stigning av befolkningstall, mindre ressurser og økonomisk svingninger. Disse utviklingene i verden får ingeniører til å finne frem nye teknikker og innovasjoner som kan møte de nye kravene som kommer til å bli stilt i fremtiden. [1]<sup>1</sup>

AM som er en samlebetegnelse for 3Dprinter er ett eksempel på de fremskrittene vi tar innenfor bygg bransjen. Printerens hovedoppgaver vil bli å samarbeide med oss ingeniører i fremtiden. Dette er en maskin som allerede har blitt brukt til forskjellige prosjekter. Den har blant annet hjulpet med konstruksjonen av to broer i Nederland, en bygning i Dubai og en hel leilighet som nylig ble lagt ut på salg i USA, en bru i Kina og en til i Spania.

Flere er fortsatt skeptiske til en 3-d printer konstruksjon, fordi den ikke har bra nok bærekraftevne til at bygget kan regnes som trygg for offentlig bruk. Derfor blir selve printeren satt på som en prototype for utstilling. Noe som er negativt med en 3d printer er at det kommer til å trenge mindre arbeidskraft som skaper arbeidsledighet. Som vi har lest i en artikkel, sier (KNUT BJØRHEIM) at innen 2025 kommer 25 prosent av nye bygninger i Dubai blir bygd av en 3-d printer. Dette viser at arbeidskraften minkes med ca. 10 til 15 prosent. [2]<sup>2</sup>

Hvis vi skal se på den positive siden, så fører 3-D printer til mindre bruk av betong, og dette resulterer til mindre CO2 utslipp.

*Tabell 1 Fordeler og ulemper med 3\_D printer betong*

| Fordeler med (3DPB)                     | Ulemper med (3DPB)            |
|---|-------------------------------|
| Billigere konstruksjoner                | Fører til mer arbeidsledighet |
| Mindre CO2 utslipp                      |                               |
| Økende tillit til arkitekter/ingeniører |                               |
| Rask og presis komplet konstruksjon     |                               |

Det første vi begynner med før vi starter med å bruke 3d printeren, er å lage en digital 3d modell i datamaskin og dette gjør vi på et program som heter CAD-program. Etter at vi har lagd modellen på pc-en så sendes den til 3D-printer som skriver den ut fra topp til bunn, lag for lag.

Bygg ingeniører er ansvarlige for kvaliteten på betongen, og hvorvidt den er bra nok til å produseres. Man skal bestemme mengde materialene, som man igjen skal blande av hvert material. Noen parameter som påvirker betongens mulige bestandighet er masse -forholdet, det vil si (vann/sement) forholdet V/C tallet.

Videre finner dere bilder av blant annet bygningen som står ferdigstilt med 3D-printer.

### **Nederland bru: to bruer en med betong og en med stål.**



*Figur 1 Bru i Nederland*

I byen Gemert i Nederland finnes det en 3D-printet betong bru for syklister, som er laget av firmaet BAM Infra i samarbeid med Eindhoven University of Technology.

Broen er 8m lang, 3,5m bredt, 0,9m tykk og er bygd til å vare opp til 30 år. Selve broen består av 6 elementer som har høyden 1,08m, ca.90 lag med 12mm hvert lag.

Hver av de elementene ble printet ut lag for lag, med armeringsstål(ståltråd), som igjen ble brukt til å koble sammen elementene til broen. [3]<sup>3</sup>



*Figur 2 3D-printet metall bru*

Joris Laarman født 24 oktober 1979 i Nederland Borculo. Han studerte ved design Academy Eindhoven. Joris designet metall broen i Amsterdam, ved hjelp av Danske Forve Technology. Sammen har de klart å Printe stålbroen høsten 2018. Danske forve står bak sensorene, som da er at de beregner hvor mye belastningen den kan tåle, og eventuelle forskyvninger. [4]<sup>4</sup>

### **3D-printet hus i USA**

Verdens første 3D-printet hus ble bygd i USA. Dette huset har en brutto areal på 1700 kvadrat meter, og en bruks arealet på 750 kvadrat meter. Den har også en garasje med plass til 2 biler. Dette huset inkluderer 3 soverom, 2 bad med toalett, og en åpen planløsning. Huset er bygd med 3D-print av betong og den gir en garanti på holdbarhet og styrke i 50-år. [5]<sup>5</sup>



*Figur 3 3D-printet hus i USA*

## Bru i kina



*Figur 4 3D-printet Bru i kina*

Verdens lengste 3-d printet bru, som finnes i Kina/Shanghai i Wisdom Bay Park, ble bygget av en gruppe med ingeniører som ble ledet av Professor Xu Weiguo fra Tsinghua, Universitet i Beijing. Broen består av betong uten armering og ble ferdiggjort i januar 2019.

Betongen er et komposittmateriale som består av polyetylenfiber med varierende tilsetningsstoff, og ble testet flere ganger før bruk. Før prosjektet, ble det laget en prototype i skala 1:4 for å teste bæreevnen til bruene. Broen ble designet med en enkel bue, som har 44 hulrom med størrelse på 0.9x0.9x1.6 meter. Den bærer lasten og håndtak som var delt inn i 68 deler for at det skal være enkelt for printerne. De gjorde det samme med fortauet, som ble delt i 64 deler. [6]<sup>6</sup>

## 2.2 Hvordan fungerer en 3D-printer?

En 3D-printer går gjennom en rekke prosesser, det går slik: for å printe ut en konstruksjon må man designe en digital modell av den konstruksjonen som skal bygges. Det brukes derfor et CAT-program, som Solidworks hvor man tegner en modell av det som skal bygges. Eksempel er Revit hvor man også kan tegne et hus.

For at printerne skal kunne printe ut konstruksjonen må den vite hvor koordinatene kommer fra, det gjør den ved hjelp av CAM-programmet. Den sender geometriske koder til den digitale modellen, det vil si at huset som er tegnet i Revit må oversettes til koder eller tall. Etter at konstruksjonen eller bygget er ca. ferdig tegnet, må man sørge for at 3D printerne fungerer som den skal, det gjør man ved å se om printerne kan bevege seg fritt, uten hindringer, i x, y og z-akse. Når vi vet at printerne er uten feil må vi fylle på printerne med ferdig mikset betong, som har en bestemt andel med tilslag (sand)+ sement+ vann+ (det



riktige tilsetningsstoffet vi skal ha) inni blenderen og maskinen justerer blandingen selv. Vi tester på nytt om printeren fungerer uten feil når den printer ut materiale, og hvis alt ser greit ut er man da klare til å sette den i gang 3D konstruksjonen. [7]<sup>7</sup>

En viktig del som spiller rolle når man skal ha med en 3D-printer å gjøre er CNC Maskin. En CNC-maskin er en forkortelse for Computer Numerically Controlled maskin. Den blir kontrollert numerisk via pc. Et eksempel som forklarer det på en enklere måte er: Man kan 3D-printe en liten garasje eller bro ved å bruke 3D-printer uten å ha med en maskin som styrer 3D-printeren. Vi kan se hvilken vei den skal X, Y eller Z-akse, men da må vi holde slangen selv og plassere der den skal. Problemet med denne løsningen er at vi er mennesker og klarer ikke å være presise, og med dette kreves det en grundig og nøye presisering. Mest sannsynlig kommer garasjen eller broen til å se skeiv ut. CNC maskinen har gjort det veldig lett for oss, ved at vi lager et numerisk program som heter (G-kode), den lager vi på pc og sender den til 3D-printer som printer helt selv ved hjelp av CNC maskin. [8]<sup>8</sup>

## 2.3 Python

GUIDO VAN ROSSUM var født og oppvokst i Nederland. Han studerte ved universiteter i Amsterdam da han var 26 år gammel. Han tok mastergrad i IKT og matematikk. Guido Van Rossum er skaperen av programmeringsspråket Python. Dette lagde han en gang mens han var på ferie og hadde ingenting å gjøre og slik ble Python laget. Python er ikke et program, men et programmeringsspråk som man bruker til forskjellige applikasjoner som laging av apper, nettsider, analyse av data, osv. Vi kan tenke på Python som en LEGO, hvor vi kombinerer de forskjellige blokkene til å lage hva som helst. Her er det kun kunnskap og ferdigheter som kan begrense hva du kan gjøre, samme med Python. [9]<sup>9</sup>

Python er enklere å bruke i forhold til de andre programmeringsspråkene som for eksempel, PHP, PHP er et skript språk som driver med å utvikle dynamiske nettsider. [10]<sup>10</sup>

### **Eksempler på hvorfor Python er enklere:**

Kan leses og skrives enkelt.

Har ikke strenge regler, vi møter ikke med detaljer for eksempel

Mindre koder enn andre programmer.

Den er lett å lære, og passer perfekt til nybegynnere. Dette kan føre til økt motivasjon til å

ville lære mer. Python kan brukes på mange forskjellige domener. Veldig mye informasjon på internett er gratis og de største fabrikkene i verden bruker Python.

## 2.4 Betong

Fra 1919 betraktes betong som et av hovedmaterialene i konstruksjonen fordi det inneholder generelle egenskaper som styrke, holdbarhet, brannmotstand og enkel bruk derfor Betong har høy flyt og fleksibilitet, noe som gjør det enkelt å bruke på mange former (Maage & NORHEIM, 2015).

En av de viktigste materialer i betong er sement, som betraktes en tilgjengelig byggmaterial og danner cirka 30% av betongen og i tillegg, har vi sand, vann, stein som danner cirka 70% av betongen og når vi blander alle disse materialene sammen på en visst mengde får vi en enkelt blanding som kalles betong. En av de mest kjente sementtypene er Portland, som krever en veldig høy temperatur for å produsere. Kalk blir først påført i en oven med høytemperatur og deretter malt til den blir et pulverlignende stoff og blir behandlet gjennom noen komplekse kjemiske prosesser. En av disse prosessene kalles hydrering.

Når det gjelder grove tilslaget, har den muligheten til å øke egenskapene til betong, da det reduserer krymping og mer hardhet og vi har to typer av tilslaget som stein og den større enn 4 cm eller sand som er mindre enn 4 cm. En av viktigste fordeler med betong at den kan tåle kompresjon, men samtidig det som kan være ulemper at det tåler ikke strekkfasthet derfor for å øke strekkfasthet kan det være lurt å legge til armeringsjern.

Vann og sement forholdet (V/C) er et komplekst forhold, og vann gir betong bearbeidbarhet, men den føre til at svekkelse i betong styrken (vi vil gå litt dypere med å med forklaring etter på). For å bruke mindre vann.

Betong består av tilsetningsstoffer som danner mindre enn 5% av sement vekten og den kan ganske viktig for å øke egenskapene til betong for eksempel superplastisizer (sp) som reduserer vannmengde og samtidig gir betong med høy styrke bearbeidbarhet og den kalles for Hight strength concrete eller pozzolaner som flyge aske, silikastøv og slagg. Masse forhold er vann og sement pluss andre tilsetning stoffer og den oppgis via formelen

$\frac{V}{C} + \sum k * \text{tilsetningsmaterialer}$ , hvor k er virkningsfaktor.

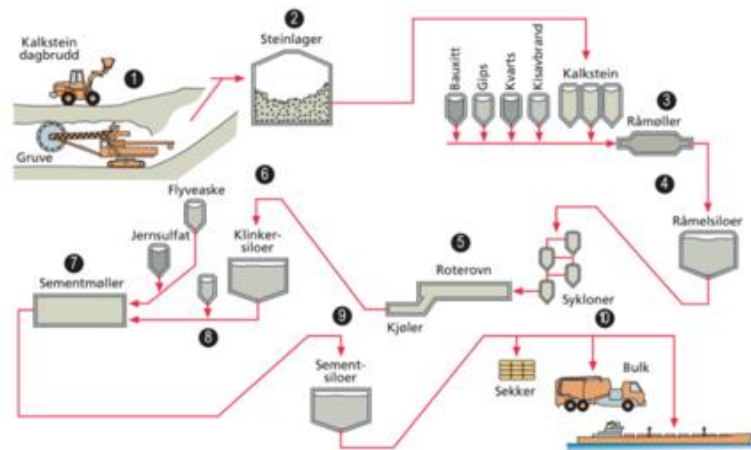
Betong har flere forskjellige typer for eksempel den normal betong (plain concrete) og her mener vi betong som ikke inneholder armeringsjern og den har lite evne til å tåle strekkfasthet. For å øke kvalitet på den normal betong så det tilsattes fiber som gjøre at betongen blir mer duktilitet.

## 2.5 Generelt om sement

Sement regnes som en av de viktigste komponentene i betong, og på slutten av 1800-tallet ble sement en av de viktigste industriproduktene. Portland sement er en av de eldste typene utviklet av Aspdin, og denne typen sement er oppkalt etter Portland stein som ligger i øye Portland i England. Portland sement betyr ren sement som inneholder mer enn 95% av Portland sement klinker, og den oppkalt sement standard CAM- NS-EN 179-1/7/.

For å øke egenskapene til sement blandes vanligvis forskjellige materialer, for eksempel flyge aske og andre materialer, og av den grunn blir sementnavnet gitt avhengig av materialene som er blitt blandet med og prosentandelen av Portland klinker må være mer enn 65% for eksempel portlandslaggsment, Portlands flyge askesement. Hvis den er mindre enn 65% så kalls ofte for pozzolansement og slaggsement.

En av de viktigste råvarene som brukes i produksjonen av sement er kalkstein  $\text{CaCO}_3$ . I begynnelsen av produksjonsprosessen blir råvarene malt etter den tørre metoden eller den våte metoden, hvor råvarene blir malt og deretter sendes til et syklontårn, og her begynner kalsineringsprosessen, der råvarene blir oppvarmet i en ovn ved en temperatur på 1000 grader. Dretta sendes pulveret til rotaovnen, og ved en temperatur mellom 1400 til 1500 smelter kalksteinen mer og vi får klinkermineraler, som er hovedmaterialet for sement (Maage & NORHEIM, 2015). For å kontrollere herding av sement tilsattes gips og for binde opp krom til sattes jernsulfat.



Figur 5 Sement produksjon

I ren Portlandsement finner vi at det finnes forskjellige oksider, men blant de viktigste mineralene, som utgjør hoved forholdet  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$  og  $CaO$

I den siste fasen av sementproduksjonen må tilsattes jernsulfat, fordi loven om bruk sement i Norge bestemmer at sementen må være dechromatisert DVS ikke mer enn (2) mg per kilo og det er, fordi den har høy PH- når sement og vann blandes sammen og den kan være helse skadelig.

Tabell 2 Viktigste oksidene i Portlandsement

| Navn                    | Kjemisk formel | Variasjonsområde |
|-------------------------|----------------|------------------|
| Silisiumoksid           | $SiO_2$        | 17–24 %          |
| Aluminiumoksid          | $Al_2O_3$      | 4–7 %            |
| Jemoksid                | $Fe_2O_3$      | 1,5–5 %          |
| Kalsiumoksid            | $CaO$          | 60–67 %          |
| Magnesiumoksid          | $MgO$          | 1–5 %            |
| Svoveloksid             | $SO_3$         | 1,5–3 %          |
| Kalium- og natriumoksid | $K_2O + Na_2O$ | 0,2–1,5 %        |

## 2.6 Flyveaske



*Figur 6 Flyveaske*

Flyveaske er et bearbejdet restprodukt fra rensing av røykgassene i kulldreven kraftvekt og er et forurensende material under produksjon, men vi bruker flyve aske til å gjøre betongen mere miljøvennlig. Flyve ask er et material med en god absorpsjonsegenskap for fjerning av forskjellige forurensninger. Vi bruker det mye som sementerstatning i betong for å redusere CO<sub>2</sub> foravtrykket og for å øke fastheten, som blir sterkere over lengere tid [11]<sup>11</sup>.

Egenskapen til materialet henger tett sammen med hvor stor mengde med silisiumdioksid (SiO<sub>2</sub>) det er. Silisiumdioksidet (SiO<sub>2</sub>) er amorf (glassaktig) og har derfor pozzolan egenskaper, det gjør at betongen har en høyere fasthet. Pozzolaner er tilsetningsmaterialer som reagerer med kalsiumhydroksid (Ca(OH)<sub>2</sub>), som er et biprodukt fra hydratiseringen av sement og danner nye reaksjonsprodukter med fasthet. De mest brukte pozzolanene i betong er flyveaske og silikastøv, men det er flyve aske som er mest i bruk siden den kommer fra eksisterende industrier og er billigere å produsere enn silikastøv. I flyveaske skal innholdet av SiO<sub>2</sub> ligge i området 40-70% og det bestemmes av hva som blir brent (sammensetningen av materialet) og brenningsprosessen/fyring. Flyve aske inneholder også en god del med andre stoffer som aluminiumsoksid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), jernoksid (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) og kalsiumoksid (CaO). Som regel blir Flyveaske delt inn i 2 typer, en kalsiumholdig og silikatholdig. Flyveaske har som regel lavere densitet enn sement, det fører til høyre matriksvolum, og mer stabil betong, **Standard som ble brukt:** NS-EN 450-1 Del 1: Definisjon, spesifikasjoner og samsvarskriterier [12]<sup>12</sup>.

## 2.7 Superplastiseringsmidler (Sp)

Superplastiserings midler som det heter på norsk, er et vannreducerende middel av høyeste kvalitet. Det brukes som tilsetningsstoffer for å lage fast og kvalitets betong. Ved å bruke superplastiserings midler gir en reduksjon på 30% på vanninnholdet. Ved å ha en reduksjon

mellom sement og vann, vil ikke dette påvirke blandingsforholdet [13]<sup>13</sup>. Heller vil dette bidra til produksjon av selvkonsoliderende betong og høy ytelse betong. Når man bruker superplastiseringsmidler, vil kvaliteten på blandingen bli forbedret og fersk. Styrken til betongen vil bli sterkere når blandingsforholdet mellom vann og betong reduseres, slik superplastiseringsmidler bidrar til. Superplastiseringsmidler (SP) er de forbedrede blandingene med svært effektive mykgjørende effekter på våt betong [14]<sup>14</sup>. Superplastiseringsmidler resulterer i betydelig forbedring i bearbeidbarhet ved et gitt vann-sement-forhold. For en konstant bearbeidbarhet kan reduksjon av vanninnhold opp til 30% oppnås ved bruk av superplastiseringsmidler.

## **2.8 V/C**

Vann sement forholdet (v/c) tall, er forholdet mellom sement og vann i betongen. V/C-tallet betyr mye for betongen og har innvirkning på trykkfastheten, bøyetrykkfasthet, strekkfasthet, porøsitet og svinn. Når den nye betongen har for høy v/c-tall, blir styrken til betongen i herdet tilstand svakt, mens når den har lav v/c-tall blir den sterkere. Det høye v/c-tall vil føre til en fortynnet pasta som gjør betongen mer sårbar for svinn og sprekkdannelse [15]<sup>15</sup>.

Svinn oppstår når det er volumforandring i betongen og kan føre til mikro-sprekker som skaper svake soner i betongen. Ved lav v/c-tall vill betongen i herdet tilstand ha større fasthet, og jo lavere vi går, sterkere blir betongen. Men vi lar ikke v/c-forholdet gå lavere enn 0,4, siden betongen kommer til å bli for tørr og stiv at den ikke kan støpes med 3D-printeren [16]<sup>16</sup>.

## **2.9 Kalkstein LS**

Kalkstein eller krittstein som det også går an å si, er en sedimentær bergart som består av to mineraler; kalsitt og aragonitt. De fleste kalksteinsforekomster består hovedsakelig av skallfragmenter fra marine organismer som koraller og poredyr [17]<sup>17</sup>. Kalksteinen dannes ved forsteining av lag med kalkskall og kalkslam på havbunnen. Geologisk sett er kalkstein et område som har ligget under vann, i et grunt hav. Kyster som har kalksteinforekomster, kan

man finne kalksteinsklipper. Og den mest kjente av dem finner vi ved den engelske kanal (The White Cliffs of Dover).

Kalkstein kan leveres i form av pulver og i steinform, og man kan blant annet lage marmor og fremstilling av sement. Mye av kalksteinen er farget av andre sedimenter, slik at den finnes i forskjellige varianter av gråfarge [18]<sup>18</sup>. For å gjøre dette må kalksteinen ha blitt utsatt for varme og høyt trykk over en lenger periode. Kalksteinen blir derfor dannet gjennom organiske prosesser og brukes som oftest til byggestein. Det er mest kalkstein rundt og innad i Østlandet, men kan være mulig å lokalisere det andre steder i Norge.

## 3 Proporsjonering og materialer

Proporsjonering av betong er å velge de forskjellige materialene og mengdeforhold for å oppnå ønsket kvalitet av betongen. Å proporsjonere en betong handler om:

- 1- Gi harde betongen de egenskapene som vi er ute etter.
- 2- Oppnår at ferske betong kan støpes ut.
- 3- Sørge for at endelige resultat kan forsvares økonomisk og gi tilstrekkelig sikkerhet at den holder seg.

Målet med proporsjonering av betong er å gi betongen spesifikasjoner som til passer en 3D-Printning, som for eksempel bearbeidet barhet og holdbarhet, hvor det utføres flere forskjellige eksperimenter for å verifisere kravene i henhold til Norsk stander. Det finner flere forskjellige metoder for å proporsjonere betong, og en av disse er partikkel- matriks modell som ble utviklet i en Excel-ark av Skanska.

### 3.1 Partikkel- matriks modell

Det er en modell som ble utviklet for å karakterisere fersk betong, hvor betongen blir delt i to forskjellige faser istedenfor å dele betongen i syv komponenter (Maage & NORHEIM, 2015). Grunnen til at det ble satt grense på 0,125 mm er egenskapene til matriksfasen (tunge flyttende væske) blir på virket av partikler som er mindre enn 0,125 mm.

Matriksfase: Inneholder alle del materialer som har partikler mindre enn 0,125 mm som foreksampel sement, flyveaske, silikastøv og fritt vann. For testing av strømmingsegenskap så blir det brukt Flow Cyl som er et rør med en metalkone og vi lær væsken regner fra røret til metalkona og måler hvor fort vil den metalkone tømmes og vi får flyttemotstand ( $\lambda D$ ). Flytte motstand for ideell væske er (0), derfor definere vi flyttemotstand ( $\lambda D$ ) er gjennomsnittlige forhold mellom væskestrøm til ideell væske og strømmingstapet i den målte væsket. Flyttemotstand har forskjellige verdier i betongen:



Tabell 3 Materiale og  $\lambda_d$

| Materiale                          | $\lambda_d$ |
|------------------------------------|-------------|
| Vann                               | 0,04        |
| Matriks i M60-betong (m = 0,60)    | 0,30–0,40   |
| Matriks i M40-betong (m = 0,40)    | 0,50–0,60   |
| Matriks i selvkomprimerende betong | 0,45–0,75   |

2. Partikkelfase: Inneholder alle del materialer som har partikler større enn 0,125 mm som foreksampel pukk, sand og absorberte vann og der vann som er inn i tilslaget og pukk. Partikkelfase egenskaper sin oppgave er å fylle hulrommene mellom partiklene i tilslaget og hulrommet bestemmes ved formelen:

$$P = \frac{1 - \rho_b}{\rho_p} * 100\%$$

Hvor  $\rho_b$  er partikkelfasen bulkdensitet og  $\rho_p$  er partikkeldesnitet.

## 3.2 Fremgangsmåte for proporsjonering

For å porsjonere betong så må vi gå gjennom forskjellige trinn:

### 3.2.1 Fasthetskriteriet

For å proporsjonere betong så må det bestemmes betongsfasthet i henhold til Norsk stander: NS-EN-206/7/ tabell NA2, men får oss så har vi ikke valgt noe konkorte, fordi vi forskere påvirkninger av å bruke forskjellige i fersk betong. Men vanligvis er det å bruke tabellen nedenfor:

Tabell 4 Trykkfasthetsklasser for normal betong og tungbetong

Tabell NA.2 – Trykkfasthetsklasser for normalbetong og tungbetong

| Nasjonal trykkfasthets-klasse                            | B10 | B20    | B25    | B30    | B35    | B45    | B55    | B65 | B75 | B85 | B95 |
|--|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|
| Europeisk betegnelse                                     |     | C20/25 | C25/30 | C30/37 | C35/45 | C45/55 | C55/67 |     |     |     |     |
| Karakteristisk sylindrefasthet $f_{ck,cyl}$              | 10  | 20     | 25     | 30     | 35     | 45     | 55     | 65  | 75  | 85  | 95  |
| Karakteristisk terningfasthet $f_{ck,cube}$ <sup>a</sup> | 12  | 25     | 30     | 37     | 45     | 55     | 67     | 80  | 90  | 100 | 110 |

<sup>a</sup> For trykkfasthetsklasse B55 og høyere kan andre verdier for karakteristisk terningfasthet benyttes hvis forholdet mellom disse og karakteristisk sylindrefasthet er etablert med tilstrekkelig nøyaktighet og dokumentert for den aktuelle betongsammensetningen.

I tillegg, det bør sjekkes masseforhold når det er bestemt hvilken type sement som skal brukes.

### 3.3 Bestandighetskriteriet

Bestemmelse av bestandighets bestemmes i henhold til Norsk Standard: NS-EN 206:2013+A+NA, hvor eksponering klassifiseres hvilket miljø skal betongen brukes til og hvilket angrep som kan påvirke selve betongen og totalt har vi 20 klasse som er delt i 8 grupper, etter vi har klassifiserte så sjekker vi mot bestandighetsklasse og vi har 6 bestandighet, hvor den strengest er MF40 som brukes hvis betongens har flere bestandighetsklasse [18]<sup>19</sup>.

### 3.4 Materialer

#### 3.4.1 Valg av bindingsmiddel og tilsetningsstoffer

➔ Sement; i enhver blanding av betong, er sement den viktigste ingrediensen fordi den er et bindemiddel som limer de andre materialene sammen. Det finnes flere forskjellige typer sement og alle de skiller seg i både bindingskvaliteten og betingelsene for sluttproduktet.

I vår lab forsøk brukte vi to forskjellige typer sement;

- «Adda Standard FA-sement av typen Portland som garanterer en sement av høy kvalitet uten tilsetninger. Adda Standard FA sement er produsert av Norcem og er tilpasset norsk forhold og kan benyttes til betong i alle eksponerings, bestandighets

og fasthetsklasser. Standardsement FA gir bestandig betong også i kombinasjon med alkalireaktivt tilslag. Produktet er tilpasset for bygningskonstruksjoner i bestandighetsklasse M60 og M90, men er også godt egnet for strengere bestandighetsklasser.» Forkortelsen FA kommer fra flyveaske og sementen er tilsatt 20% flyveaske. Standardsements egenskaper er; høy tidligfasthet, god støpelighet og moderat slutfasthet. Den tilfredsstillende kravet i henhold til NS-EN 197-1:2011 for Portland sement CEM II/B-M 42,5 R.



*Figur 7 Standard FA-Sement*

- «SNABB-sement er en industriell sement av Portland sement produsert i Skövde og Slite. Den har rask styrkeutvikling og brukes for eksempel til krav til tidlig sliping og til støpning i kaldt vær.» Den tilfredsstillende kravet i henhold til NS-EN 197-1:2011 for Portland sement CEM I 52,5 R.

➔ Tilsetningsstoffer; -

- Silikastøv er røykgass-støv fra ferrosilisium og silisiumproduksjon og betegnes som en pozzolanreaksjon som er mer temperaturfølsom enn sementsreaksjon med vann. På grunn av høy finhet gir det en god tetthet og bestandighet i betongen som skyldes dens kuleformede struktur og den er med på å påvirke både ferske og herdende egenskaper. Mikro silika kan fylle opp hulrommene mellom sementkornene og det fører til at de vannfylte hulrommene blir mindre og betongen tettere.

- flyveaske er pulverformet materiale som er fremstilt ved brenning av kull under produksjon av elektrisitet. Bruk av flyveaske i sement bidrar til å redusere sementmengde, fordi den er byttet ut med flyveaske og dermed reduserer den utslipp av CO<sub>2</sub> fra sementproduksjonen.

### 3.4.2 Valg av tilslaget sammensetning som sand

→ Årdal sand 0 – 8 mm som vi måtte sikte med 2 mm sikt og vi har gjort noen tester før bruk av sanden

## 3.5 Sikteanalyse av sand 0 – 8 mm

Vi utfører sikteanalyse test for å bestemme det geometriske egenskapene av tilslaget prøve i henhold til §NS-EN 933-1: 2012. Den testen går utpå å utarbeide en grafisk framstilling av sammensetting i tilslaget etter korn størrelse.

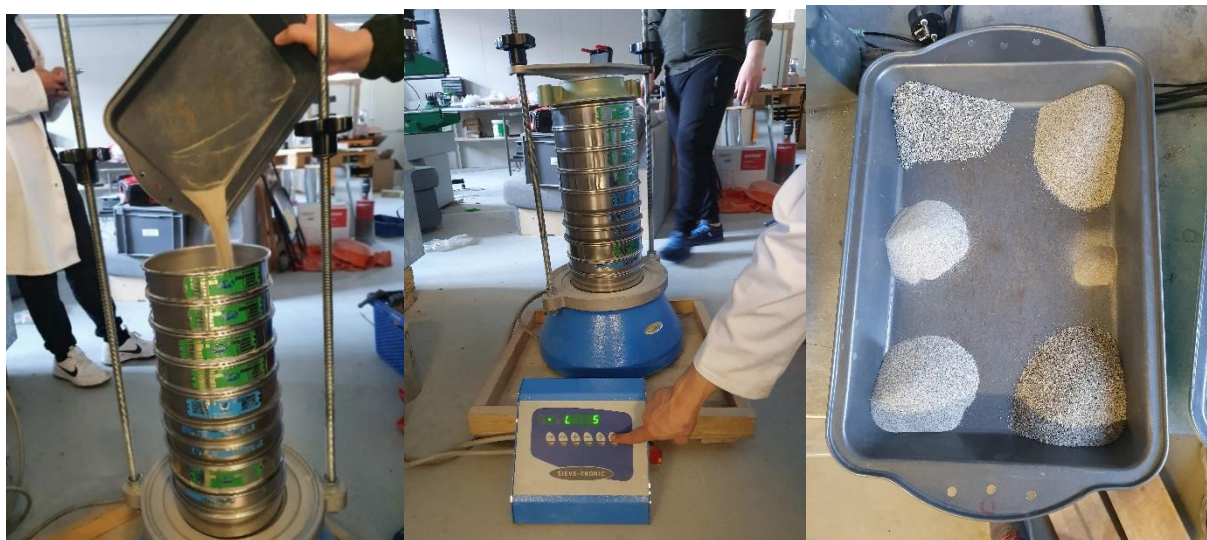
### Utstyr

- Brett, skje og beholder
- Ventilert tørkeovnen ( $110 \pm 5$  °C)
- Lab vekt med 0,1 g nøyaktighet
- Siktmaskin
- Gummihansker

### Framgangsmåte

1. Legg tilslaget i en brett og sikt den med 2mm sikt
2. Legg det på en brett og leg den i ovnen på  $110 \pm 5$  °C for 2 timer for å tørke den.
3. Ta den ut og la den avkjøle i rom temperatur, også veier du den til en vekt på  $M_1$  som er massen av materialet etter den er tørket
4. Satt den i en beholder og vask den med tilstrekkelig vann og nok styrke til vannet blir ren.
5. Vask sandprøven med 0,0063 mm sikt og 2 mm sikt på toppen slik at suspensjonen som passerer test siktene kan kastes til avfall og beholde de partiklene som blir igjen i siktene.

6. Set den igjen i en brett og leg den i ovnen på  $110 \pm 5$  °C for at den skal tørkes i 24 timer.
7. Ta den ut og la den avkjøle i rom temperatur og mål vekten som  $M_2$ ,
8. Helle tilslaget i siktemaskinen fra sikt 4 mm til 0,0063 mm sikt og den skal vibreres ved hjelp av elektroniske siktemaskin i 5 min.
9. Etter de 5 minuttene veie den materiale på hver sikt og noter den.



*Figur 8 Siktanalyse testen*

Vi analyserer tilslaget i størrelsesorden fra 0,063 mm sikten til 4 mm sikten ved hjelp av en sikteanalyse. Det skal regnes ut andel i prosent av de ulike kornstørrelsene ved ferdig utført av sikteanalyse. Massen til tilslaget etter tørking skal gis benevning  $M_1$ , og etter tilslaget er

vasket grundig og tørket i ovnen, tas det ut og gid benevning  $M_2$ . Massen som ikke passerer den første sikten får benevning  $R_1$  og alle de andre siktene som er under får benevninger  $R_2$ ,  $R_3$ , helt til siste sikten  $R_n$  og bunnplaten får benevning  $P$ . Hvis summen av massen  $R_i$  og  $P$  varierer med mer enn 1% fra massen  $M_2$  må hele testen gjentas igjen; -

$$\left( \frac{M_2 - (\sum R_i + P)}{M_2} \right) * 100 < 1\%$$

For å beregne prosentandelen av tilslaget som passerer 0,063 mm sikten bruker man følgende;

$$f = \left( \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_2} \right) * 100$$

*Tabell 5 Resultat på sikteanalyse testen*

Vekt av lab forsøket vårt 1000 gram

| Sikte størrelse i mm | Massen av materialet i $R_i$ | Massen i gram | $100*(R_i/M_1)$ | $100 - \sum 100*(R_i/M_1)$ |
|----------------------|------------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|
| 4,00                 | $R_1$                        | 0             | 0               | 100                        |
| 2,00                 | $R_2$                        | 1,7           | 0,17            | 99,83                      |
| 1,00                 | $R_3$                        | 300,9         | 30,09           | 69,74                      |
| 0,500                | $R_4$                        | 284           | 28,4            | 41,34                      |
| 0,250                | $R_5$                        | 206,7         | 20,67           | 20,67                      |
| 0,125                | $R_6$                        | 102           | 10,2            | 10,47                      |
| 0,063                | $R_7$                        | 56,1          | 5,61            | 4,86                       |
| P                    | P                            | 10,6          | 1,06            | 3,8                        |
| <b>Sum</b>           |                              | <b>962</b>    | <b>96,2</b>     |                            |

### 3.6 Pyknometer test

Vi utfører en test av korn densitet av vann absorpsjon av tilslags prøve i henhold til NS-EN 1097-06:2013

#### Utstyr

- Brett, skje og beholder
- Ventilert tørkeovnen ( $110 \pm 5$  °C)
- Lab vekt med 0,1 g nøyaktighet
- Termometer med nøyaktighet 0,1 °C
- Gummihansker
- Pyknometer 1000 ml
- Vannbad stillbart til ( $22 \pm 3$ ) °C
- Metallkone og metallstamper
- Sikt med åpning 0,0063 mm og 4 mm

#### Framgangsmåten:

1. Legg utvalgte tilslaget i en brett og sikte med 2 mm sikt
2. Satt den i en beholder og vask den med tilstrekkelig vann og nok styrke til vannet blir ren.
3. Vask sandprøven med 0,0063 mm sikt og 2 mm sikt for å fjerne fine partikler og rør den til vannet blir ren
4. Overfør den vaskede sandprøven til en 1000-ml-pyknometer som er fylte med  $\frac{1}{4}$  vann som holder ( $22 \pm 3$  °C)
5. Satt på lokket og plasser pyknometeret i et vannbad som holder ( $22 \pm 3$ ) °C i 24 timer
6. Etter tar du ut pyknometeret og fjerner du innestengt luften for å dunke den og veier vekten som  $M_2$
7. Legg den våte sandprøven i en brett og skyl pyknometeret og fyll den med vann og veie den som  $M_3$  også registrerer du temperatur på vannet

8. Fordel testmassen jevnt utover formen, og tørke den med hårføner og dette gjøres til prøvesanden er fritt for klumper og er tørket.
9. For å kontrollere om testmassen er tørr skal du gjøre følgende;
  - Satt metallknen i en brett og fyll med sandprøven uten å flytte metallknen
  - Slå den 25 ganger fra åpningen på toppen av metallknen med metallstamper og komprimer testen
  - Fjern metallknen deretter og se om testmassen kollapser, for hvis den ikke kollapser må tørkingen med hårføner gjentas.
  - Registrere testmassen som  $M_1$
10. Satt sandprøven igjen i en brett og legg den i ovnen på  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  for at den skal tørkes i 24 timer
11. Ta ut testmassen etter 24 timer og registrer den som  $M_4$



*Figur 9 Pycnometer test*



### 3.7 Fukt måling

Fuktinnhold for sand (0 – 8mm) måtte måles før gjennomføring av de ulike testene. Dette gjøre vi for å få utført fuktinnholdet i Skanska proporsjoneringsarket i Excel. Fuktinnholdet ble målt på 0,5 %.

For å måle fuktinnholdet;

Vi tok 200 gram av sand (0 – 8mm) og satte den i en beholder så satte vi den i ovnen som var på 110<sup>0</sup> varme grader for å tørke.

Vi tok den ut etter 3 timer og la den være i rom temperatur før vi målte vekten, deretter brukte vi en formel for å finne fuktinnholdet; ((Vekten av våt sand – vekten av tørk sand) / vekten av våte sand) \*100. Så fant vi fuktinnholdet slik.

### 3.8 Valg av parameter

#### 3.8.1 Matriks volum

Vi har valget matriks volum på forskjellige mengder der den laveste var på 400 [l/m<sup>3</sup>] og den høyeste var 700 [l/m<sup>3</sup>], og grunnen vi valgte var at vi hadde ønsket å studere effekten av de forskjellige matriks volumene og påvirkningen på betong egenskapene i seg selv og i kombinasjon av andre parametere. Eksempelvis av valg av matriks volum og resten er vedlegg A.

*Tabell 6 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen*

|              | Materialer |        |              |          |         |     |              | SP% | Kalkstein% | flyvaske% |
|--------------|------------|--------|--------------|----------|---------|-----|--------------|-----|------------|-----------|
|              | Sand(g)    | SP(g)  | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C | Matrix volum |     |            |           |
| Matrix volum | 3824,366   | 10,138 |              | 416,171  |         | 0,4 | 400          |     |            |           |
|              | 3494,679   | 11,482 |              | 481,301  |         | 0,4 | 450          | 1   | 0          | 0         |
|              | 3164,992   | 13,547 |              | 546,431  |         | 0,4 | 500          | 1   | 0          | 0         |
|              | 2835,306   | 15,251 |              | 611,562  |         | 0,4 | 550          | 1   | 0          | 0         |
|              | 2505,619   | 16,955 |              | 676,692  |         | 0,4 | 600          | 1   | 0          | 0         |
|              | 2175,932   | 18,66  |              | 741,823  |         | 0,4 | 650          | 1   | 0          | 0         |
|              | 1846,246   | 20,364 |              | 806,953  |         | 0,4 | (MV7) 700    | 1   | 0          | 0         |
|              | 3329,836   | 12,694 |              | 513,866  |         | 0,4 | (MV8) 475    | 1   | 0          | 0         |
|              | 3000,149   | 14,399 |              | 578,997  |         | 0,4 | (MV9) 535    | 1   | 0          | 0         |

### 3.8.2 Flyveaske

Valg av prosent andelen av flyveaske er for å teste påvirkning i betong egenskaper i forhold til andre parameter og i kombinasjon av de også. Den laveste var på 5 % og den høyeste var på 30 %. Eksempelvis av valg av flyveaske og resten er i vedlegg A.

Tabell 7 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen

| mix desgin              |         | Matrialer |        |              |          |             |     |              |     |            |           |
|-------------------------|---------|-----------|--------|--------------|----------|-------------|-----|--------------|-----|------------|-----------|
|                         |         | Sand(g)   | SP(g)  | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash     | W/C | Matrix volum | SP% | Kalkstein% | flyvaske% |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10 | Fly ash | 3164,992  | 14,104 |              | 511,839  | 141,0355645 | 0,4 | 500          | 1   | 0          | 10        |
| FA-2-M500-W,4-S.1-FA-20 |         | 3164,992  | 14,708 |              | 474,279  | 294,16720   | 0,4 | 500          | 1   | 0          | 20        |
| FA-3-M500-W,4-S.1-FA-30 |         | 3164,992  | 15,367 |              | 433,354  | 461,02079   | 0,4 | 500          | 1   | 0          | 30        |
| FA-5-M500-W,4-S.1-FA-5  |         | 3164,992  | 13,619 |              | 529,484  | 69,097      | 0,4 | 500          | 1   | 0          | 5         |
| FA-6-M500-W,4-S.1-FA-15 |         | 3164,992  | 14,400 |              | 493,453  | 215,994     | 0,4 | 500          | 1   | 0          | 15        |

### 3.8.3 Kalkstein

Valg av prosent andelen av kalkstein er for å teste påvirkning i betong egenskaper i forhold til andre parameter og i kombinasjon av de også. Den laveste var på 10 % og den høyeste var på 50 %. Eksempelvis av valg av kalkstein og resten er i vedlegg A.

Tabell 8 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen

| mix desgin              |           | Matrialer |          |              |          |         |     |              |     |            |           |
|-------------------------|-----------|-----------|----------|--------------|----------|---------|-----|--------------|-----|------------|-----------|
|                         |           | Sand(g)   | SP(g)    | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C | Matrix volum | SP% | Kalkstein% | flyvaske% |
| LS-01-M500-W,5-S1-LS-10 | Kalkstein | 3164,992  | 12,54087 | 114,008      | 585,786  |         | 0,5 | 500          | 1   | 10         | 0         |
| LS-02-M500-W,5-S1-LS-20 |           | 3164,992  | 13,11389 | 218,565      | 562,158  |         | 0,5 | 500          | 1   | 20         | 0         |
| LS-03-M500-W,5-S1-LS-30 |           | 3164,992  | 13,6413  | 314,799      | 540,412  |         | 0,5 | 500          | 1   | 30         | 0         |
| LS-04-M500-W,5-S1-LS-40 |           | 3164,992  | 14,12834 | 403,667      | 520,33   |         | 0,5 | 500          | 1   | 40         | 0         |
| LS-05-M500-W,5-S1-LS-50 |           | 3164,992  | 14,57946 | 485,982      | 501,728  |         | 0,5 | 500          | 1   | 50         | 0         |

### 3.8.4 V/C

Valg av v/c-tall er for å teste påvirkning i betong egenskaper i forhold til andre parameter og i kombinasjon av de også. Den laveste var på 0.3 og den høyeste var på 0.55. Eksempelvis av valg av kalkstein og resten er i vedlegg A.

Tabell 9 Mengde av materialet i V/C

| mix desgin          |     | Matrialer |          |        |              |          |         |      |              |     |            |           |
|---------------------|-----|-----------|----------|--------|--------------|----------|---------|------|--------------|-----|------------|-----------|
|                     |     | Cement(g) | Sand(g)  | SP(g)  | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C  | Matrix volum | SP% | Kalkstein% | flyvaske% |
| WB-01-M500-W,3-S.8  | V/C | 1573,537  | 3164,992 | 12,588 |              | 477,422  |         | 0,3  |              |     |            |           |
| WB-02-M500-W,35-S.8 |     | 650,341   | 3164,992 | 10,405 |              | 527,434  |         | 0,35 | 500          | 0,8 | 0          | 0         |
| WB-03-M500-W,4-S.8  |     | 1355,166  | 3164,992 | 10,841 |              | 548,869  |         | 0,4  | 500          | 0,8 | 0          | 0         |
| WB-04-M500-W,45-S.8 |     | 1267,235  | 3164,992 | 10,138 |              | 577,638  |         | 0,45 | 500          | 0,8 | 0          | 0         |
| WB-05-M500-W,5-S.8  |     | 1190,019  | 3164,992 | 9,52   |              | 602,902  |         | 0,5  | 500          | 0,8 | 0          | 0         |
| WB-06-M500-W,55-S.8 |     | 1121,673  | 3164,992 | 8,973  |              | 625,263  |         | 0,55 | 500          | 0,8 | 0          | 0         |

### 3.9 Resept

Vi ser et eksempel av betong resept og resten har vi i vedlegg (B)

*Tabell 10 mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen*

| Proporsjonert betong                   |                   |
|--|-------------------|
| Materialer                             | kg/m <sup>3</sup> |
| Norcem Standard FA                     | 0,0               |
| Norcem industri                        | 518,2             |
|  | 0,0               |
| Elkem Microsilica                      | 0,0               |
| CALCINED CLAY                          | 0,0               |
| LIMESTONE                              | 0,0               |
| Normineral flyveaske                   | 0,0               |
| Slagg                                  | 0,0               |
| Fritt vann                             | 259,1             |
| Absorbert vann                         | 14,3              |
| Årdal 0/8 mm nat. vask.                | 0,0               |
| Årdal 0/2 mm nat. vask                 | 1431,5            |
| Årdal 8/16mm                           | 0,0               |
| Årdal 16/22 mm                         | 0,0               |
|  | 0,0               |
|  | 0,0               |
|  | 0,0               |
|  | 0,0               |
|  | 0,0               |
| sp                                     | 0,00              |
| LIMESTONE(AS A FILLER)                 | 51,82             |
|  | 0,00              |
|  | 0,00              |
|  | 0,0               |
|  | 0,0               |
| Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> ) | 2275              |

# 4 Metoder

## 4.1 Blandingsprosess

I vår forskningsoppgave for blanding av betong har vi brukt tidligere forskningsoppgave og resepten for betongen har blitt utarbeidet av oss i gruppen.

Vi veier all del materialer i lab vekt med 0,1 g nøyaktighet og setter alt i blenderen. Vi blander materialene i tørr tilstand for 1.5 minutter i lav hastighet, deretter tilsetter vi vann over intervall på 30 sekunder og la den blandes i 30 sekunder i lav hastighet før vi tilsetter SP og blander alt sammen i ca. 3 minutter i høy hastighet.

## 4.2 Støpning

Støpning er en prosess hvor man heller fersk betong (fersk fase) i støpeformer og lar den herde i 24 timer i romtemperatur før den tas ut fra støpeformen, etter blanding av betong så må det gå få timer før støpning, etter 3-4 timer da begynner avbinningsfasen. og den siste fasen da vi tar den ut av støpeform heter herdefase. For at formen med betong skal komme lett ut av støpeformen så brukes det forskalingsolje. (1)

Forskalingsolje brukes til å smøre støpeformene før det legges på tilslag. Støpeformer varierer ut fra hva man vil lage, i våres tilfelle så har vi benyttet oss av to støpeform med rektangulære former, tre og metal med dimensjonen 100x100x100 cm, i henhold til NS-EN 196-1. En veldig viktig ting når det gjelder å støpe er å planlegge godt, spesielt når man skal støpe mye.

## 4.3 Materialer til prosessen

Støpeformer, en liten spade / linjal for å rette toppene, og plastfolie for å dekke den med, og betong.

Utføring prosessen:

- Lag en miks.
- Smøre formene med forskalingsolje.
- Legge et ark helt nederst som viser hvilken miks det er.
- Helle fersk betong i formene

- Vibrere formene ved hjelp av vibrator maskinen
- Avrette formene ved hjelp av linjal
- Dekke formene med plastfolie og latt den herde i 24-timer.

Etter vi har utført ferdig denne prosessen så går vi videre til neste prosess som gir oss resultatet/ bedre forståelse til betongen vi har laget, og denne prosessen heter herdeprosess. Herdeprosess: er den prosessen betongen går fra flytende materiale til fast materiale, den starter fra 6-12 timer. Etter 24 timer av formes det for å bli lagd i vannbad på ca. 20 grader celsius. Deretter ventes det 7 og 28 dager for å teste trykfastheten og bøyefasthet.

## 4.4 Pre tester

I pre tester har vi utført mange forskjellige tester i henhold til tidligere studiet (Kazemian, Yuan, Cochran, & Khoshnevis, 2017) med forskjellige parametere og vi jobbet sammen med en annen bachelor studenter som har akkurat samme tema som oss. Vi jobbet med åtte parametere; v/c, matriks volum, kalkstein, flyveaske, superplastiserende (SP), silika, fiber og kalkstein kalsinert leiersement. Vi delte de åtte parameterne etter vi har blitt godt kjent med de forskjellige test metodene og har satt hvordan de materialene påvirker betongen og hver gruppe fikk fire parametere som de skulle teste i hoved testene.

### 4.4.1 Flow table test

#### Hensikt

I denne teste er målet å bestemme betongens bearbeidbarhet ved å undersøke betongens flytende egenskap, vi brukte i henhold til EN 1015-3:1999/A1. Vi bruker i denne testen metallkone, metallstamper og en plate med håndtak. ((Metall plate dimensjoner 30 cm x 30 cm x 0,2 cm), metallstamper av metal (2,5 cm i diameter), Metallkone (Nedre diameter = 10 cm, øvre diameter = 7 cm, høyde = 6 cm).

#### Framgangsmåte

Vi smører forskalingsolje på metallkonen slik at betongen ikke fester seg på den. Etter blanding av betongen i betongmikseren heller vi ferdig blandet betongen i metallkonen halvveis i midten av platen og slår den med metallstamper 20 ganger, deretter fyller vi på

metallkone fullt og slår den igjen 20 ganger med metallstamper. Resterende betong fjernes fra toppen slik at det blir jevnt med metallkone og vi tar bort metallkone sakte slik at betongen holder metallkone formen. Deretter løfter vi håndtaket opp og slipper den ned og repeterer dette 25 ganger slik at betongen flytter seg rundt platen. Deretter måler vi diameteren av den flyttende betongen ved å si.

## Resultat

$$\text{Gjennomsnitt diameter} = \frac{D1 + D2}{2}$$



*Figur 10 Flow table*

## 4.4.2 Sylinder test

### Hensikt

I denne testen målet er å bestemme betongens form stabilitet og holdbarhet ved å sjekke om betongen deformerer seg eller holder sin form etter du legger på en mengde vekt. Vi bruker en sylinder på 8 cm høyde med en vekt på 841.4 g, en metallplate, en metallstamper og vekt på 4,5 kg.

### Framgangsmåte

Vi smører forskallings olje på sylindere og fyller den halvveis ca. 4 cm med ferdig blandet betong, deretter stamper vi den med metallstamperen 20 ganger, vi fyller sylindere fullt igjen og slår den 20 ganger. Vi fjerner resterende betongen fra toppen slik at det blir jevnt med sylindere og vi tar bort sylindere sakte slik at betongen holder sylindere formen. Deretter måler vi høyden som  $H_1$  og legger en vekt på 4,5 kg over sylindere formet betongen og ser deformasjonen av betongen og måler den nye høyden som  $H_2$ .

Etter vi har tatt flere tester denne måten, måtte vi gjøre noen justeringer. Vi gjøre akkurat samme ting og følget samme rutine, men vi måtte endre vekten vi legge på fra 4,5 kg til 5,5 kg og vi stampet de 15 ganger istedenfor 20.

### Resultat

Høyde forskjellen (deformasjon) =  $H_1 - H_2$  (med vekt på 4,5 kg)  $\Rightarrow$

Høyde forskjellen (deformasjon) =  $H_1 - H_3$  (med vekt på 5,5 kg)  $\Rightarrow$

## 4.4.3 Green Strength test

### Hensikt

I denne testen er målet å bestemme styrken til betongen etter 0 minutter og etter 15 minutter etter du legger på en mengde vekt toppen av sylindere formet betongen. Vi bruker sylindere, lineær, og elektriske vibrerende tabell.

### Framgangsmåte

Vi smører forskallings olje på sylindere og fyller den fullt med ferdig blandet betong rett etter vi har ferdig mikset og kaller det 0 minutter, deretter slå vi på den elektriske vibrerende tabellen og la den vibrere i 30 sekunder og slår den av. Da tar vi bort sylindere sakte slik at betongen holder sylindere formen og måler høyden som  $H_1$ . Vi legger en mengde vekt på den sylindere formet betongen og ser deformasjonen av betongen og måler den nye høyden som  $H_2$ .

Etter 15 minutter repeterer vi akkurat samme som vi gjøre etter 0 minutter.

### **Resultater**

Høyde forskjellen etter 0 minutter (deformasjon) =  $H_1 - H_2$  (*med en mengde vekt*)  $\Rightarrow$

Høyde forskjellen etter 15 minutter (deformasjon) =  $H_1 - H_2$  (*med en mengde vekt*)  $\Rightarrow$

Høyde forskjellen etter 30 minutter (deformasjon) =  $H_1 - H_2$  (*med en mengde vekt*)  $\Rightarrow$

## **4.4.4 Trykkfasthet test**

### **Hensikt**

Trykkfasthet er å teste evnen til betongen til å bære lastene på overflaten uten sprekk eller avbøyning. Når noe er under kompresjon har den en tendens til å reduseres i størrelse, mens i spenning forlenges den i størrelse.

Vi utførte denne testen i laben i henhold til § NS-EN 12390-3:2019; Prøving av herdnet betong - Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet.

### **Framgangsmåte**

Vi smører forskallingsolje på formene slik at betongen ikke fester seg på dem. Vi heller ferdig blandet betongen i en rektangulær former for å støpe den og overflaten på prøven skal være jevn og glatt og dette gjøres ved å plassere blandingen jevnt og spre på hele området av prøven og vibrere den i noen sekunder slik at det blir ikke hulrom. Vi setter plast på prøvene og etter 24 timer fjernes formene, og testprøvene legges i vann for herding.

Disse prøvene blir testet av kompresjonstestmaskinen etter tre dager, syv dager og 28 dager herding. Last påføres gradvis til prøvene svikter og vi noterer akkurat hvor den prøven svikter med mengde kraft. Belastning ved svikt delt på prøveområde gir trykkfasthet til betong.



## Resultat

$$\text{Trykkapasitet} = \left( \frac{F(\text{kraft})}{A(\text{Areal})} \right)$$

### 4.4.5 Bøyefasthet test

#### Hensikt

Bøyetrykk er mengden av kraft en gjenstand kan tåle uten at det brytes eller deformeres permanent. Hvis du vil vite hvor sterk betongen din er, vil en måte å teste det være å presse ned på midten hardere og til det knekkes. Den maksimale skyvekraften betongen tåler før den brytes, er dens bøyefasthet.

Vi utførte denne testen i laben i henhold til § NS-EN ISO 5402-1:2017; Lær - Bestemmelse av bøyefasthet - Del 1: Fleksometermetode (ISO 5402-1:2017).

#### Framgangsmåte

Vi smører forskalingsolje på formene slik at betongen ikke fester seg på dem. Vi heller ferdig blandet betongen i en rektangulær former for å støpe den og overflaten på prøven skal være jevn og glatt og dette gjøres ved å plassere blandingen jevnt og spre på hele området av prøven og vibrere den i noen sekunder slik at det blir ikke hulrom. Vi satter plast på prøvene og etter 24 timer fjernes formene, og testprøvene legges i vann for herding.

Testingen utføres etter at prøven er fjernet fra vannet, og mens prøvene er i våt tilstand. Referanselinjer tegnes ved bruk av tusj penn 3 cm fra kanten av prøven på hver side for å indikere posisjonen til rullestøttene. De prismatiske prøvene støttes på rullene på testmaskinen. Disse rullene gir en enkelt støttet tilstand for testen. Lasten påføres gradvis gjennom to symmetriske ruller på bjelkens akse og til slutt påføres lasten til prøven mislykkes, og den maksimale lasten blir notert.

## Resultat

$$\text{Bøyestrek} = \left( \frac{1,5 * F(\text{kraft}) * L(\text{lengde})}{b^3(\text{Bredde})} \right)$$

## 4.5 Hoved tester

I hoved tester hadde vi fire parametere der vi testet hvordan de påvirker betongen og hvordan de påvirker hverandre (Zhang et al., 2018). De fire parameterne vi hadde var v/c, matriks volumet, kalkstein og flyveaske. Vi utførte de samme testene vi hadde i pre tester, men mer standardisert og i tillegg hadde vi to mer tester extrudability og penetrometer.

### 4.5.1 Flow table test

I denne teste er målet å bestemme betongens bearbeidbarhet ved å undersøke betongens flytende egenskap i henhold til EN 1015-3:1999/A1. I denne testen bruker vi, metallkone, metallstamper og en sirkulær plate med håndtak. ((Metall plate dimensjoner (30 cm x 30 cm x 0,2 cm), metallstamper av metal (2,5 cm diameter og 290 gram), Metallkone (Nedre diameter = 9 cm, øvre diameter = 4 cm, høyde = 8cm).

Vi smører forskalingsolje på metallkone slik at betongen ikke fester seg på den. Etter blanding av betongen i betongmikseren fyller vi ferdig blandet betongen i metallkone på første lag med 4 cm og slår på den med metallstamper 15 ganger, deretter fyller vi på metallkone fullt til 8 cm og slår den igjen 15 ganger med metallstamper. Resterende betong fjernes fra toppen slik at det blir jevnt med metallkone og vi tar bort metallkone sakte slik at betongen holder metallkone formen. Deretter roterer vi håndtaket opp og slipper den ned og repeterer dette 15 ganger slik at betongen flytter seg rundt platen. Deretter måler vi diameteren av den flyttende betongen ved å si:

$$D = \frac{D1 + D2}{2}$$

$$\text{Gjennomsnitt diameter } D = \frac{D1 + D2}{D1} * 100$$

Hvor D1 = er diameteren på metallkone

D2= er diameteren på betongen

## 4.5.2 Sylinder test

I denne testen, målet er å bestemme betongens form stabilitet og holdbarhet ved å sjekke deformasjonen før og etter du legger på en mengde vekt. Vi bruker en sylinder på 10 cm høyde med en vekt på 0,841.4 kg, en metallstamper og vekt på 5,6 kg.

Vi smører forskallings olje på sylindere og fyller den på første lag på 5 cm med ferdig blandet betong, deretter stamper vi den med metallstamperen 15 ganger også fyller vi sylindere igjen med andre lag til 10 cm og slår den 15 ganger så prøver vi å få jevnt overflaten på toppen av betongen med linjal. Vi tar bort sylindere sakte slik at betongen holder sylinder formen. Deretter måler vi høyden som H1 og legger plate med 5 kg vekt på den og total vekten blir 5,6 kg over sylinder formet betongen og ser deformasjonen av betongen og måler igjen den nye høyden etter deformasjonen som H2.

$\Delta H: H1-H2$

## 4.5.3 Green strength test (0 og 15) minutter

I denne testen er målet å bestemme styrken til betongen etter å ha vibrert i (0 og 15) minutter og måle vekten du legger på toppen av sylinder formet betongen i henhold til § NS-EN 12390-3:2019. Vi bruker sylinder, lineær, og elektriske vibrerende tabell.

Vi smører forskallings olje på 10 cm høyde sylindere og fyller den fullt med ferdig blandet betong rett etter vi har ferdig mikset og kaller det 0 minutter, deretter slå vi på den elektriske vibrerende tabellen og la den vibrere i 30 sekunder.

Vi tar bort sylindere sakte slik at betongen holder sylinder formen og legger en mengde vekt på den, deretter noterer vi vekten.

Etter det, fyller vi sylindere på nytt igjen og vibrer den i 30 sekunder og lar den ligge der dekket med plastfolie i 15 min, så tar vi bort sylindere sakte og legger en mengde vekt igjen deretter noterer vi vekten igjen.

Vi ser hvor mye deformasjon som har skjedd mellom 0 min og 15 min og hvor mye vekt betongen tålte fra 0 min til 15 min.

#### **4.5.4 Extrudability test**

I denne testen er målet å teste betongens evne til å presses ut kontinuerlig, og det å kjenne flytbarheten av betongen resulterer om det er mulig å ekstrudere eller ikke i tidligere studiet (Rahul, Santhanam, Meena, & Ghani, 2019).

Det ble ekstrudert 30 cm langt enkelt lag av ferdig blandet betong ved bruk av test bed printeren.

Vi målte deretter dimensjonen til det ekstrudert lag hvert 10 cm.

Testen ble kvalifisert ok hvis målingene som ble gjort på disse stedene bekreftet til dimensjonen på dysen med en toleranse på 0,2 mm.

Det som ble ekstrudert må være uten overflatefeil inkludert diskontinuitet på grunn av overdreven stivhet.

#### **4.5.5 Penetrometer test**

I denne testen målet er å finne initial time, det vil tiden det tar før betongen blir hard i henhold til § ASTM C403/C403M – 16 International Standard.

Hell betong i beholder med dybde på 140 mm.

Kompakt betong med 16 mm dia. x 600mm stålstamp. En trykk for hver sirkel med en diameter på 28 mm (600 mm<sup>2</sup>) av betongoverflate. Fullfør overflaten på minst 13 mm mørtel.

Oppbevar betong under ikke-tørkende forhold i ønsket tid, og fjern overskuddsvann ved bruk av pipette.

Velg nål av passende størrelse, avhengig av graden av innstilling av mørtel og satt overflaten av nålen i kontakt med mørtel flate.

Påfør en vertikal kraft gradvis og jevnt ned på apparatet til dybden på  $25 \pm 2$  mm.

Bruk nok kraft til å nå denne penetrasjonen på  $10 \pm 2$  sekunder.

Les verdien registrert med glideren og noter denne med tiden som er gått siden det første vannet ble tilsatt betong.

Gjennomtrengingsspenningsverdien uttrykt i kg / cm<sup>2</sup> beregnes multipliseres med kalibreringsfaktoren til fjæren (= 1 kg / mm) avlesningen i mm og divideres med snittet (i cm<sup>2</sup>) av den valgte nålen.

Ta første avlesning mellom 3 og 4 timer etter første tilsetning av vann til betongblanding, og deretter med 30 minutters intervall.

Spissene skal ha minst 15 mm eller to nålediameter eller nærmere enn 25 mm til siden av beholderen.

Innledende initial time er når penetrasjonsmotstanden er lik 3,5 MPA.

Gjør minst fire gjennomføringer for hver gang innstillingstest.

Etter lesing er det to måter å finne setting time på.

Forsøk først å tegne kurven med avlesningene og tiden. Ved å bruke kurven, prøv å finne den første setting time.

For det andre, tegne log-kurve mellom penetrasjon og tid. Ved å bruke kurven, prøv å finne den første setting time. Korrelasjonen må være minst 0,98. Ellers bruker man metoden over.

## **4.6 Maskinlæring**

Maskinlæring refererer til algoritmer som datamaskiner bruker for å lære av data, slik den kan forutse framtidige data (Sarkar, Bali, & Ghosh, 2018). For å forstå hvordan maskinlæring algoritmer fungerer, er den kategorisert i to hovedkategorier; - overvåket læring og uovervåket læring.

I vår bachelor oppgave brukte vi overvåket læring overvåket læring, der du har et datasett med input og kjente output. Oppgaven er å bruke dette datasettet til å trene en modell som forutsier de riktige output basert på input. Vi brukte liner regresjon og neural Network.

### **4.6.1 Lineær regresjon**

Lineær regresjon er en av de viktigste i regresjonsteknikkene, fordi den er

1- lett å bruke

2- lett å tolke resultatene

Lineær regresjon sin oppgave er å finne sammenheng mellom variable taller.

I lineær regresjon så hver observasjon har flere funksjoner og hver funksjon er avhengig av de andre.

output er avhengig variabler, og har symbol med  $X$ .

input er uavhengig variabler, og har symbol med  $Y$ .

Denne algoritmen er avhengig av å gi tallene, så vil den tegne en linje som inkludere alle tallene.

## 4.6.2 Neural Network

Neural network er et sett med algoritmer som er designet for å gjenkjenne mønstre, det vil si en matematisk funksjon som tilordner en gitt input til ønsket output. Neural network er en universell funksjon (Sarkar et al., 2018). Det vil si enhver gitt vilkårlig funksjon som vi prøver å modellere uansett hvor komplekse den er, vil neural network alltid være i stand til å representere funksjonen.

Det er et system som lærer hvordan den skal forutse ved å følge de her steger;

- tar imot input data
- Gjøre forutsetninger
- sammenligne det forutsette til ønsket output
- justere sin interne tilstand for å forutse riktig til neste gang.

Dataene lagres som vektorer, og med Python lagrer du disse vektorene i matriser. Hvert lag endrer dataene som kommer fra forrige lag og den blir som et funksjonsteknisk trinn, fordi hvert lag trekker ut noen representasjon av dataene som kom tidligere.

# 5 Resultater

Vi har utført sju forskjellige tester på de fire forskjellige parameterne vi hadde i vår bachelor oppgave og her skal vi legge resultatene.

## 5.1 Kalkstein

Tabell 11 Materialer til LS

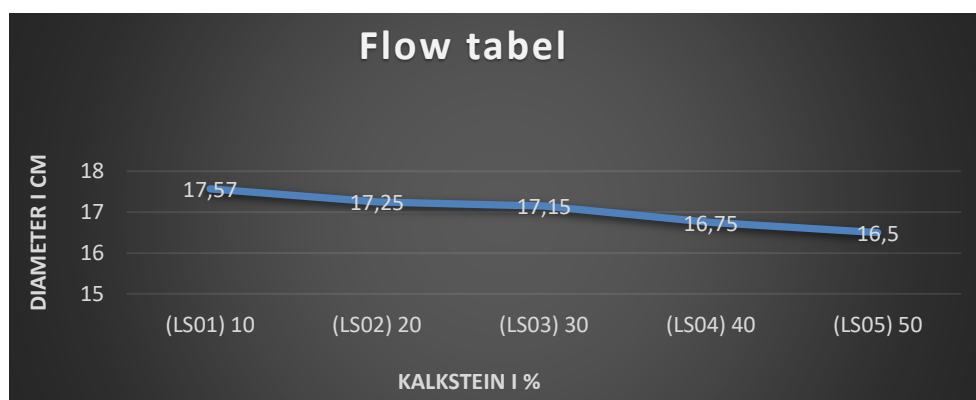
| Dato       | Tidspunkt | mix desgin              |           | Materialer |          |          |              |          |         |     |              |     |            |           |   |
|------------|-----------|-------------------------|-----------|------------|----------|----------|--------------|----------|---------|-----|--------------|-----|------------|-----------|---|
|            |           |                         |           | Cement(g)  | Sand(g)  | SP(g)    | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C | Matrix volum | SP% | Kalkstein% | flyvaske% |   |
| 13.04.2021 | 12:39:00  | LS-01-M500-W,5-S1-LS-10 | Kalkstein | 1140,079   | 3164,992 | 12,54067 | 114,008      | 585,786  |         |     | 0,5          | 500 | 1          | 10        | 0 |
| 13.04.2021 | 14:37:00  | LS-02-M500-W,5-S1-LS-20 |           | 1092,824   | 3164,992 | 13,11369 | 218,565      | 562,158  |         |     | 0,5          | 500 | 1          | 20        | 0 |
| 13.04.2021 | 11:24:00  | LS-03-M500-W,5-S1-LS-30 |           | 1049,331   | 3164,992 | 13,8413  | 314,799      | 540,412  |         |     | 0,5          | 500 | 1          | 30        | 0 |
| 13.04.2021 | 16:16:00  | LS-04-M500-W,5-S1-LS-40 |           | 1009,167   | 3164,992 | 14,12634 | 403,667      | 520,33   |         |     | 0,5          | 500 | 1          | 40        | 0 |
| 13.04.2021 | 13:29:00  | LS-05-M500-W,5-S1-LS-50 |           | 971,964    | 3164,992 | 14,57946 | 485,982      | 501,728  |         |     | 0,5          | 500 | 1          | 50        | 0 |

I denne tabellen over viser den de forskjellige mengde av materialer for v/c blandingen.

Tabellen viser antall prosent av V/C som starter med miks design WB-01 til WB-06 og vi ser at den øker i prosent fra 0.3 % til 0.55 %.

### 5.1.1 Flow table resultat

I dette del kapital ble det utført flow table test i henhold til EN 1015-3:1999/A1, og i denne testen brukte vi; metallkone, metallstamper og en sirkulær plate med håndtak. Gjennomføring av testene, har vi forklart i kapittel (4.5.1 Flow table test). Hensikten med å lage graf er å finne ut hvor de forskjellige blandingene er flyttende eller harde i forhold til antall mengde av kalkstein i prosent:

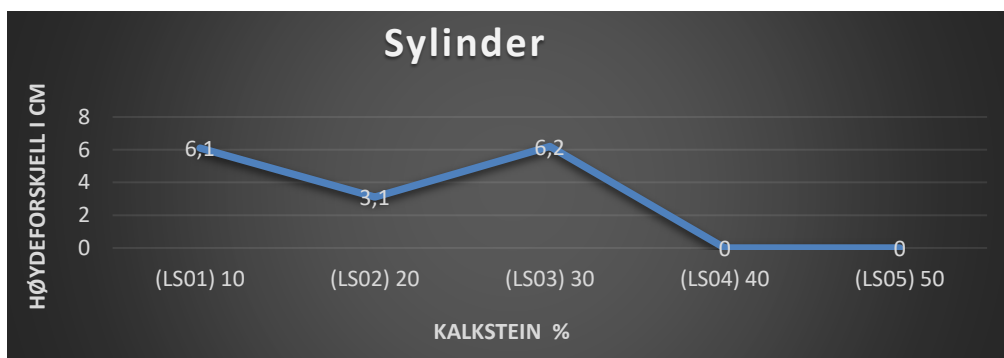


Figur 11 Flow table i forhold til kalkstein

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i kalkstein og y-aksen viser diameteren og hvor flytende hver av de enkelte blandingene er. Vi ser at i LS01 har vi kalkstein i 10 % og den gir resultater i flow 17,57 cm diameter, i LS02 så har vi kalkstein i 20 % og den gir resultater i flow 17,25 cm diameter, i LS03 så har vi kalkstein i 30 % og den gir resultater i flow 17,15 cm diameter, i LS04 så har vi kalkstein i 40 % og den gir resultater i flow 16,75 cm diameter og i LS05 så har vi kalkstein i 50 % og den gir resultater i flow 16,5 cm diameter.

### 5.1.2 Sylinder resultat

Vi gjennomførte sylinder test i henhold, og vi brukte en sylinder på 10 cm høyde, en metallstamper og vekt på 5,6 kg. Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapitel (4.5.2 sylinder test). Hensikten med grafen er å vise hvilken av de forskjellige blandingene tåler vekten på 5,6 kg eller kollapser i sin egen vekt i forhold til antall mengde av kalkstein i prosent



*Figur 12 Sylinder i forhold til kalkstein*

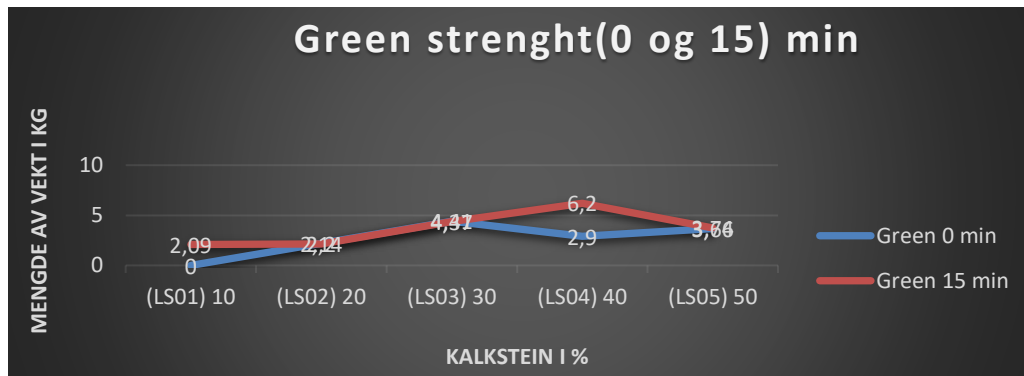
I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i kalkstein og y-aksen viser høyde forskjellen for sylinder test på hver av de enkelte blandingene. I LS01 har vi, kalkstein i 10 % og den gir resultater i sylinder 6,1 cm, i LS02 har vi, kalkstein i 20 % og den gir resultater i sylinder 3,1 cm, i LS03 har vi, kalkstein i 30 % og den gir resultater i sylinder 6,2 cm, i LS04 har vi, kalkstein i 40 % og den gir resultater i sylinder 0 cm som betyr at den tålte ikke egen vekt, og i LS05 har vi, kalkstein i 50 % og den gir resultater i sylinder 0 cm som betyr at den tålte ikke egen vekt.

### 5.1.3 Green strength resultat (0 min, 15 min)

Det ble gjennomført green strength test i henhold til § NS-EN 12390-3:2019; og vi brukte sylinder på 10 cm og elektriske vibrerende tabell. Gjennomføring av testen, forklarte vi i



kapitel (4.5.3 green strength test). Hensikten med grafen er å vise hvilken av de forskjellige blandingene tåler en mengde vekter på 0 minutter og etter 15 minutter i forhold til antall mengde av kalkstein i prosent



Figur 13 Green strength eller 0 og 15min

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i kalkstein og y-aksen viser antall kg for green strength test i (0 og 15) minutter. I LS01 har vi, kalkstein i 10 % og den gir resultater i green strength på 0 min i 0 kg og på 15 min i 2,09 kg, i LS02 har vi, kalkstein i 20 % og den gir resultater i green strength på 0 min i 2,2 kg og på 15 min i 2,14 kg, i LS03 har vi, kalkstein i 30 % og den gir resultater i green strength på 0 min i 4,41 kg og på 15 min i 4,37 kg, i LS04 har vi, kalkstein i 40 % og den gir resultater i green strength på 0 min i 2,9 kg og på 15 min i 6,2 kg, og i LS05 har vi, kalkstein i 50 % og den gir resultater i green strength på 0 min i 3,66 kg og på 15 min i 3,74 kg.

#### 5.1.4 Extrudability resultat

Det ble gjennomført extrudability test i følge av tidligere studiet. Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapitel (4.5.4 extrudability test). Hensikten med testen er å teste betongens evne til å presses ut kontinuerlig, og det å kjenne flytbarheten av betongen resulterer om det er mulig å ekstrudere eller ikke.

Testen i LS01, LS02, LS03, LS04 og LS05 viser at de var ok og hadde evnen til å ekstrudere, og de ble presset ut kontinuerlig uten overflate feil.

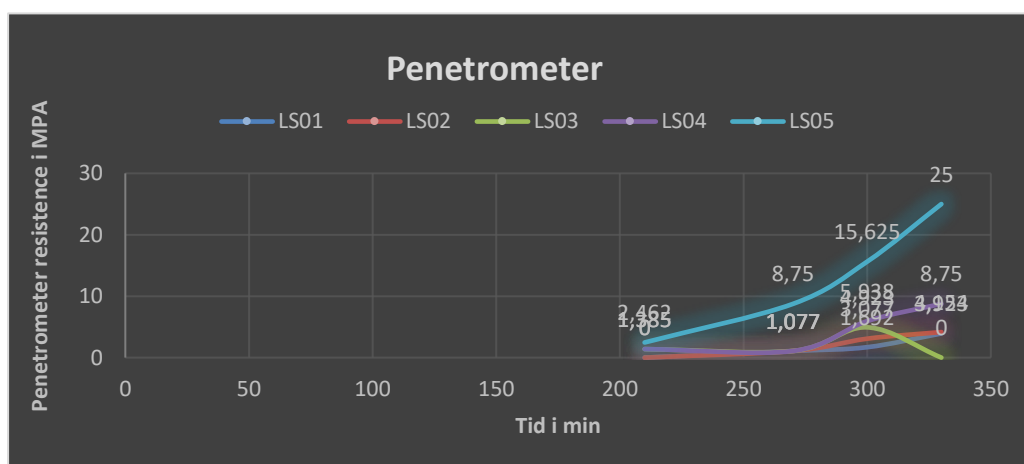
#### 5.1.5 Penetrometer resultat

Det ble gjennomført penetrometer test i henhold til § ASTM C403/C403M – 16 International Standard. Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapitel (4.5.5 penetrometer test). Hensikt med testen er å teste hvor langt tid det tar fra du setter vann i blandingen til det begynner å bli hard.

Tabell 12 Penetrometer resultat

| Mix                     | tid 1 | tid2 | tid3 | tid4 | MPA 1 | MP2   | MP3    | MP4   |
|-------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|--------|-------|
| LS-01-M500-W,5-S1-LS-10 | 210   | 270  | 300  | 330  | 0     | 1,077 | 1,692  | 3,923 |
| LS-02-M500-W,5-S1-LS-20 | 210   | 270  | 300  | 330  | 0     | 1,077 | 3,077  | 4,154 |
| LS-03-M500-W,5-S1-LS-30 | 210   | 270  | 300  | 330  | 1,385 | 1,077 | 4,923  | 0     |
| LS-04-M500-W,5-S1-LS-40 | 210   | 270  | 300  | 330  | 1,385 | 1,077 | 5,938  | 8,75  |
| LS-05-M500-W,5-S1-LS-50 | 210   | 270  | 300  | 330  | 2,462 | 8,75  | 15,625 | 25    |

I denne tabellen over viser registrert tiden det tok i minutter fra første vannet ble tilsatt i blandingen og kraften i MPA som ble påført vertikalt gradvis og jevnt. Det ble gjennomført fire tester i fire forskjellige tider for hver blanding.



Figur 14 Penetrometer resultat i forhold til kalkstein

I grafen over viser x-aksen den tiden det tar i minutter for hver kraft som blir påført og y-aksen viser registrert kraften som ble påført i MPA. I LS01 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften var 0 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 1.077 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 1.692 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 3.923 MPA.

I LS02 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften var 0 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 1.077 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 3.077 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 4.154 MPA.

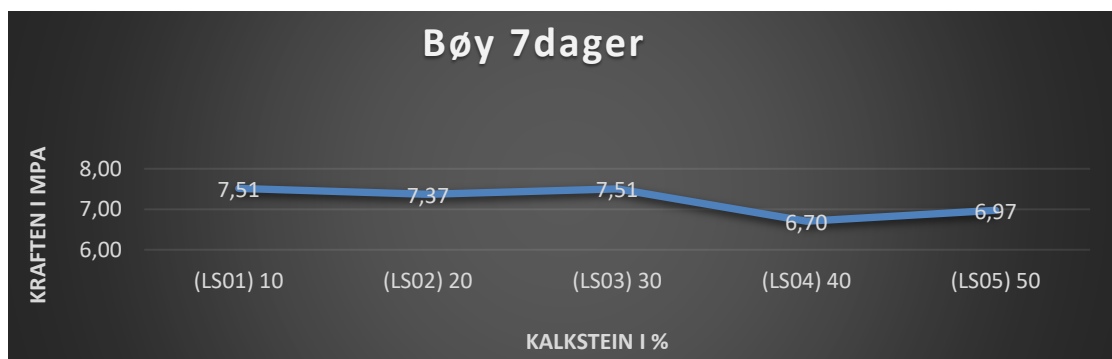
I LS03 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften var 1.385 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 1.077 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 4.923 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 0 MPA.

I LS04 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften var 1.385 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 1.077 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 5.938 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 8.750 MPA.

I LS05 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften var 2.462 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 8.750 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 15.625 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 25 MPA

### 5.1.6 Bøyefasthet resultat (7 dager)

Det ble gjennomført bøyefasthet test i henhold til § NS-EN ISO 5402-1:2017. Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapital (4.4.5 bøyefasthet test). Hensikt med testen er å finne mengden av kraft en gjenstand kan tåle uten at det brytes eller deformeres permanent, det vil si den maksimale skyvekraften betongen tåler før den brytes, er dens bøyefasthet.



Figur 15 bøy resultat etter 7 dager i LS

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i kalkstein og y-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I LS01 har vi, kalkstein i 10 % og den gir resultater i bøyefasthet på 7,51 MPA, i LS02 har vi, kalkstein i 20 % og den gir resultater i bøyefasthet på 7,37 MPA, i LS03 har vi, kalkstein i 30 % og den gir resultater i bøyefasthet på 7,51 MPA, i LS04 har vi, kalkstein i 40

% og den gir resultater i bøyefasthet på 6,70 MPA og i LS05 har vi, kalkstein i 50 % og den gir resultater i bøyefasthet på 6,97 MPA.

### 5.1.7 Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager

Det ble gjennomført trykkfasthet i henhold til § NS-EN 12390-3:2019. Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapitel (4.4.4 trykkfasthet test). Hensikt med testen er å teste evnen til betongen til å bære lastene på overflaten uten sprekk eller avbøyning.



*Figur 16 trykk resultat etter 7 dager I LS*

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i kalkstein og y-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I LS01 har vi, kalkstein i 10 % og den gir resultater i trykkfasthet på 39.12 MPA, i LS02 har vi, kalkstein i 20 % og den gir resultater i trykkfasthet på 53,67 MPA, i LS03 har vi, kalkstein i 30 % og den gir resultater i trykkfasthet på 53.76,51 MPA, i LS04 har vi, kalkstein i 40 % og den gir resultater i trykkfasthet på 53.12 MPA og i LS05 har vi, kalkstein i 50 % og den gir resultater i trykkfasthet på 55.98 MPA.



*Figur 17 trykk resultat etter 28 dager*

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i kalkstein og y-aksen viser kraften i MPA i 28 dager. I LS01 har vi, kalkstein i 10 % og den gir resultater i trykkfasthet på 60.79 MPA, i LS02 har vi, kalkstein i 20 % og den gir resultater i trykkfasthet på 60,09 MPA, i LS03 har vi,

kalkstein i 30 % og den gir resultater i trykkfasthet på 56.86 MPA, i LS04 har vi, kalkstein i 40 % og den gir resultater i trykkfasthet på 61.31 MPA og i LS05 har vi, kalkstein i 50 % og den gir resultater i trykkfasthet på 61.14 MPA.

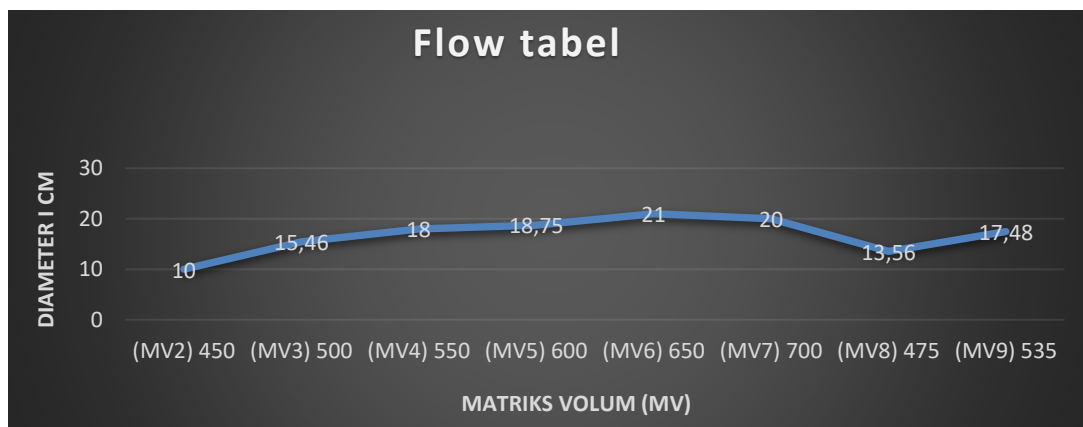
## 5.2 Matriks volum

Tabell 13 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i MV

| mix desgin        |              | Matrialer |          |        |              |          |         |     |              |
|-------------------|--------------|-----------|----------|--------|--------------|----------|---------|-----|--------------|
|                   |              | Cement(g) | Sand(g)  | SP(g)  | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C | Matrix volum |
| MV-01-M400-W,4-S1 | Matrix volum | 1013,769  | 3824,366 | 10,138 |              | 416,171  |         | 0,4 | 400          |
| MV-02-M450-W,4-S1 |              | 1184,211  | 3494,679 | 11,482 |              | 481,301  |         | 0,4 | 450          |
| MV-03-M500-W,4-S1 |              | 1354,653  | 3164,992 | 13,547 |              | 546,431  |         | 0,4 | 500          |
| MV-04-M550-W,4-S1 |              | 1525,095  | 2835,306 | 15,251 |              | 611,562  |         | 0,4 | 550          |
| MV-05-M600-W,4-S1 |              | 1695,537  | 2505,619 | 16,955 |              | 676,692  |         | 0,4 | 600          |
| MV-06-M650-W,4-S1 |              | 1865,979  | 2175,932 | 18,66  |              | 741,823  |         | 0,4 | 650          |
| MV-07-M700-W,4-S1 |              | 2036,421  | 1846,246 | 20,364 |              | 806,953  |         | 0,4 | 700          |
| MV8-M475-W40-S1   |              | 1269,432  | 3329,836 | 12,694 |              | 513,866  |         | 0,4 | 475          |
| MV9-M525-W40-S1   |              | 1439,874  | 3000,149 | 14,399 |              | 578,997  |         | 0,4 | 535          |

I denne tabellen over viser den de forskjellige mengder av materialer for hver av de blandingene. Tabellen viser matriks volum for hver miks fra MV-01 til MV-09 som øker fra 400 til 700.

### 5.2.1 Flow table test resultat

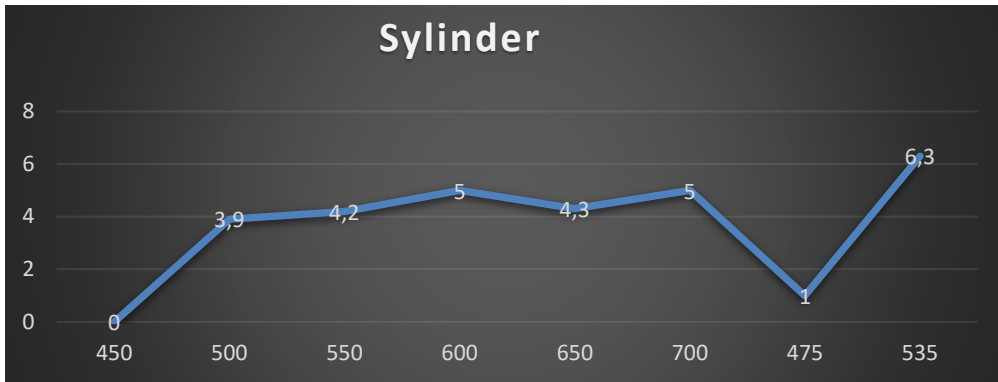


Figur 18 Flow table resultat i MV

I grafen over viser x-aksen matriks volum og y-aksen viser diameteren i cm. Vi ser at i MV2 har vi, matriks volum 450 og den gir resultater i flow 10 cm i diameter, i MV3 har vi, matriks volum 500 og den gir resultater i flow 15,46 cm i diameter, i MV4 har vi, matriks volum 550 og den gir resultater i flow 18 cm i diameter, i MV5 har vi, matriks volum 600 og den gir

resultater i flow 18,75 cm i diameter, i MV6 har vi, matriks volum 600 og den gir resultater i flow 21 cm i diameter, i MV7 har vi, matriks volum 700 og den gir resultater i flow 20 cm i diameter, i MV8 har vi, matriks volum 475 og den gir resultater i flow 13,56 cm i diameter og i MV9 har vi, matriks volum 535 og den gir resultater i flow 17,48 cm i diameter.

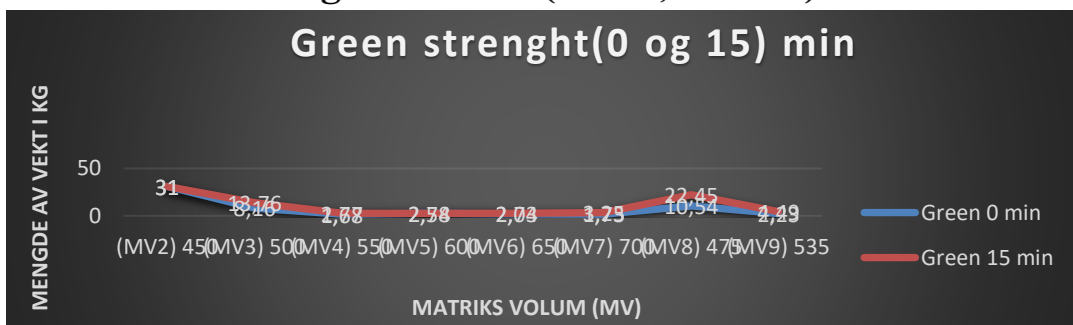
### 5.2.2 Sylinder resultat



Figur 19 Sylinder resultat i MV

I grafen over viser x-aksen matriks volum og y-aksen viser høyde forskjellen for sylinder test på hver av de enkelte blandingene. I MV2 har vi, matriks volum 450 og den gir resultater 0 cm som betyr kollaps i sylinder, i MV3 har vi, matriks volum 500 og den gir resultater 3.9 cm i sylinder, i MV4 har vi, matriks volum 550 og den gir resultater 4.2 cm i sylinder, i MV5 har vi, matriks volum 600 og den gir resultater 5 cm i sylinder, i MV6 har vi, matriks volum 600 og den gir resultater 4.3 cm i sylinder, i MV7 har vi, matriks volum 700 og den gir resultater 5 cm i sylinder, i MV8 har vi, matriks volum 475 og den gir resultater 1 cm i sylinder og i MV9 har vi, matriks volum 535 og den gir resultater 6.3 cm i sylinder.

### 5.2.3 Green strength resultat (0 min, 15 min)



Figur 20 Green strength resultat etter 0 og 15 min i MV

I grafen over viser x-aksen matriks volum og y-aksen viser mengde av vekt i kg for green strength test i (0 og 15) minutter. I MV2 har vi, matriks volum 450 og den gir resultater 31 kg

i 0 min og 31 kg i 15 min i green strength, i MV3 har vi, matriks volum 500 og den gir resultater 8.16 kg i 0 min og 13.76 kg i 15 min i green strength, i MV4 har vi, matriks volum 550 og den gir resultater 1.68 kg i 0 min og 2.77 kg i 15 min i green strength, i MV5 har vi, matriks volum 600 og den gir resultater 2.78 kg i 0 min og 2.54 kg i 15 min i green strength, i MV6 har vi, matriks volum 650 og den gir resultater 2.03 kg i 0 min og 2.74 kg i 15 min i green strength, i MV7 har vi, matriks volum 700 og den gir resultater 1.73 kg i 0 min og 3.25 kg i 15 min i green strength, i MV8 har vi, matriks volum 475 og den gir resultater 10.54 kg i 0 min og 22.45 kg i 15 min i green strength og i MV9 har vi, matriks volum 525 og den gir resultater 2.23 kg i 0 min og 4.49 kg i 15 min i green strength.

## 5.2.4 Extrudability resultat

Det ble gjennomført extrudability test i følge av tidligere studiet (Rahul et al., 2019). Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapittel (4.5.4 extrudability test). Hensikten med testen er å teste betongens evne til å presses ut kontinuerlig, og det å kjenne flytbarheten av betongen resulterer om det er mulig å ekstrudere eller ikke.

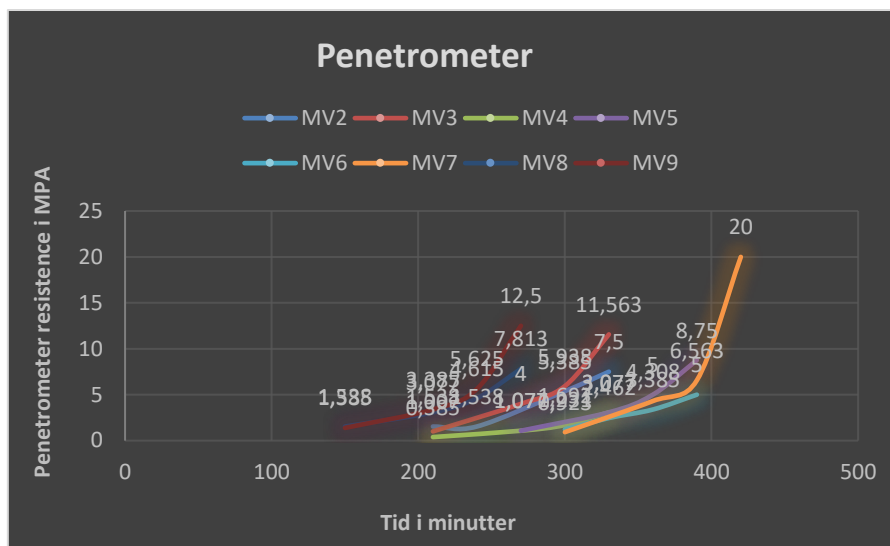
Testen i MV2, MV3, MV4 og MV8 viser at de var ikke ok og for harde for å ekstrudere MV5, MV6, MV7 og MV9 viser at de var ok og hadde evnen til å ekstrudere, og de ble presset ut kontinuerlig uten overflate feil.

## 5.2.5 Penetrometer resultat

*Tabell 14 Penetrometer resultat*

| Mix                     | tid 1 | tid2 | tid3 | tid4 | MPA 1 | MP2   | MP3   | MP4    |
|-------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|
| LS-01-M500-W,5-S1-LS-10 | 210   | 270  | 300  | 330  | 0     | 1,077 | 1,692 | 3,923  |
| MV-02-M450-W,4-S1       | 210   | 240  | 300  | 330  | 1,538 | 1,538 | 5,385 | 3,692  |
| MV-03-M500-W,4-S1       | 210   | 270  | 300  | 330  | 1,007 | 4     | 5,938 | 11,563 |
| MV-04-M550-W,4-S1       | 210   | 270  | 300  | 330  | 0,385 | 1,077 | 1,692 | 3,077  |
| MV-05-M600-W,4-S1       | 270   | 330  | 360  | 390  | 1,077 | 3,077 | 5     | 8,75   |
| MV-06-M650-W,4-S1       | 300   | 330  | 360  | 390  | 1,231 | 2,462 | 3,385 | 5      |
| MV-07-M700-W,4-S1       | 300   | 360  | 390  | 420  | 0,923 | 4,308 | 6,563 | 20     |
| MV8-M475-W40-S1         | 150   | 210  | 240  | 270  | 1,538 | 3,077 | 4,615 | 7,813  |
| MV9-M525-W40-S1         | 210   | 270  | 300  | 330  | 1,385 | 3,385 | 5,625 | 12.5   |

I denne tabellen over viser registrert tiden det tok i minutter fra første vannet ble tilsatt i blandingen og kraften i MPA som ble påført vertikalt gradvis og jevnt. Det ble gjennomført fire tester i fire forskjellige tider for hver blanding.



Figur 21 Penetrometer resultat i MV

I grafen over viser x-aksen den tiden det tar i minutter for hver kraft som blir påført og y-aksen viser registrert kraften som ble påført i MPA. I MV2 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 1.538 MPA, i tid 2 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 1.538 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 5.385 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 7.5 MPA.

I MV3 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 1.007 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 4 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 5.938 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 11.563 MPA.

I MV4 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 0.385 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 1.077 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 1.692 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 3.077 MPA.

I MV5 viser tid 1 etter 270 minutter og den registrerte påført kraften er 1.077 MPA, i tid 2 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 3.077 MPA, i tid 3 etter 360 minutter ble den registrerte påført kraften 5 MPA og i tid 4 etter 390 minutter ble den registrerte påført kraften 8.75 MPA.

I MV6 viser tid 1 etter 300 minutter og den registrerte påført kraften er 1.231 MPA, i tid 2 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 2.462 MPA, i tid 3 etter 360 minutter ble



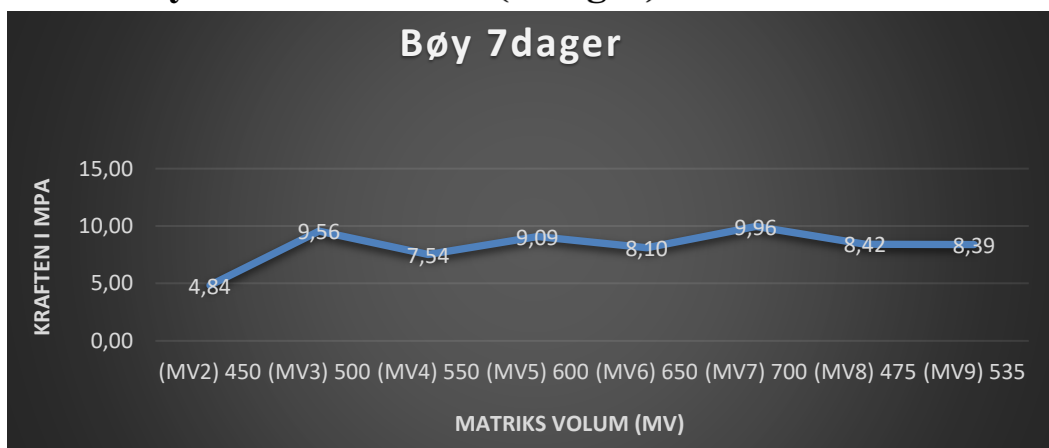
den registrerte påført kraften 3.385 MPA og i tid 4 etter 390 minutter ble den registrerte påført kraften 5 MPA.

I MV7 viser tid 1 etter 300 minutter og den registrerte påført kraften er 0.923 MPA, i tid 2 etter 360 minutter ble den registrerte påført kraften 4.308 MPA, i tid 3 etter 390 minutter ble den registrerte påført kraften 6.563 MPA og i tid 4 etter 420 minutter ble den registrerte påført kraften 20 MPA.

I MV8 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 1.538 MPA, i tid 2 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 3.077 MPA, i tid 3 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 4.615 MPA og i tid 4 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 12.5 MPA.

I MV9 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 1.385 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 3.385 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 5.625 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 12.5 MPA.

## 5.2.6 Bøyefasthet resultat (7 dager)

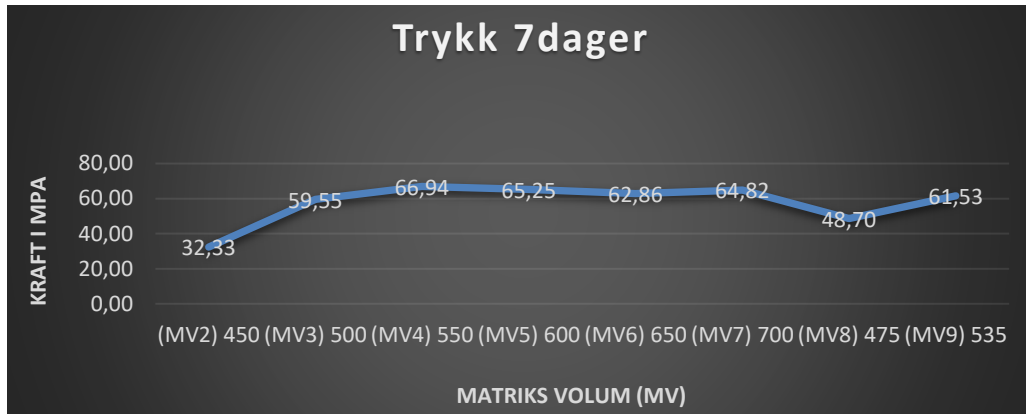


*Figur 22 Bøyefasthet resultat etter 7 dager i MV*

I grafen over viser x-aksen matriks volum og y-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I MV2 har vi, matriks volum 450 og den gir resultater i bøyefasthet på 4.84 MPA, i MV3 har vi, matriks volum 500 og den gir resultater i bøyefasthet på 9.56 MPA, i MV4 har vi, matriks volum 550 og den gir resultater i bøyefasthet på 7.54 MPA, i MV5 har vi, matriks volum 600 og den gir resultater i bøyefasthet på 9.09 MPA, i MV6 har vi, matriks volum 650 og den gir

resultater i bøyefasthet på 8.10 MPA, i MV7 har vi, matriks volum 700 og den gir resultater i bøyefasthet på 9.96 MPA, i MV8 har vi, matriks volum 475 og den gir resultater i bøyefasthet på 8.42 MPA og i MV9 har vi, matriks volum 535 og den gir resultater i bøyefasthet på 8.89 MPA.

### 5.2.7 Trykkfasthet resultat (7 og 28 dager)



*Figur 23 Trykk resultat etter 7 dager i MV*

I grafen over viser x-aksen matriks volum og y-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I MV2 har vi, matriks volum 450 og den gir resultater i trykkfasthet på 32.33 MPA, i MV3 har vi, matriks volum 500 og den gir resultater i trykkfasthet på 59.55 MPA, i MV4 har vi, matriks volum 550 og den gir resultater i trykkfasthet på 66.94 MPA, i MV5 har vi, matriks volum 600 og den gir resultater i trykkfasthet på 65.25 MPA, i MV6 har vi, matriks volum 650 og den gir resultater i trykkfasthet på 62.86 MPA, i MV7 har vi, matriks volum 700 og den gir resultater i trykkfasthet på 64.82 MPA, i MV8 har vi, matriks volum 475 og den gir resultater i trykkfasthet på 48.70 MPA og i MV9 har vi, matriks volum 535 og den gir resultater i trykkfasthet på 61.53 MPA.



*Figur 24 Trykk resultat etter 28 dager i MV*

I grafen over viser x-aksen matriks volum og y-aksen viser kraften i MPA i 28 dager. I MV2 har vi, matriks volum 450 og den gir resultater i trykkfasthet på 45.29 MPA, i MV3 har vi, matriks volum 500 og den gir resultater i trykkfasthet på 64.48 MPA, i MV4 har vi, matriks volum den gir resultater i trykkfasthet på 63.63 MPA, i MV6 har vi, matriks volum 650 og den gir resultater i trykkfasthet på 68.95 MPA, i MV7 har vi, matriks volum 700 og den gir resultater i trykkfasthet på 64.25 MPA, i MV8 har vi, matriks volum 475 og den gir resultater i trykkfasthet på 59.85 MPA og i MV9 har vi, matriks volum 535 og den gir resultater i trykkfasthet på 66.06 MPA.

## 5.3 V/C

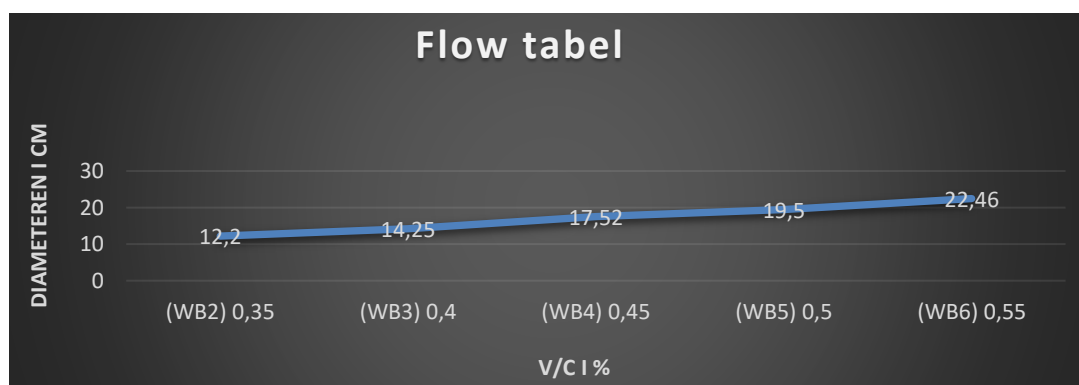
Tabell 15 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i V/C

| mix desgin          |     | Matrialer |          |        |              |          |         |      |              |     |
|---------------------|-----|-----------|----------|--------|--------------|----------|---------|------|--------------|-----|
|                     |     | Cement(g) | Sand(g)  | SP(g)  | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C  | Matrix volum | SP% |
| WB-01-M500-W,3-S.8  |     | 1573,537  | 3164,992 | 12,588 |              | 477,422  |         | 0,3  |              |     |
| WB-02-M500-W,35-S.8 | V/C | 650,341   | 3164,992 | 10,405 |              | 527,434  |         | 0,35 | 500          | 0,8 |
| WB-03-M500-W,4-S.8  |     | 1355,166  | 3164,992 | 10,841 |              | 548,869  |         | 0,4  | 500          | 0,8 |
| WB-04-M500-W,45-S.8 |     | 1267,235  | 3164,992 | 10,138 |              | 577,638  |         | 0,45 | 500          | 0,8 |
| WB-05-M500-W,5-S.8  |     | 1190,019  | 3164,992 | 9,52   |              | 602,902  |         | 0,5  | 500          | 0,8 |
| WB-06-M500-W,55-S.8 |     | 1121,673  | 3164,992 | 8,973  |              | 625,263  |         | 0,55 | 500          | 0,8 |

I denne tabellen over viser den de forskjellig mengde av materialer for v/c blandingen.

Tabellen viser antall prosent av V/C som starter med miks design WB-01 til WB-06 og vi ser at den øker i prosent fra 0.3 % til 0.55 %.

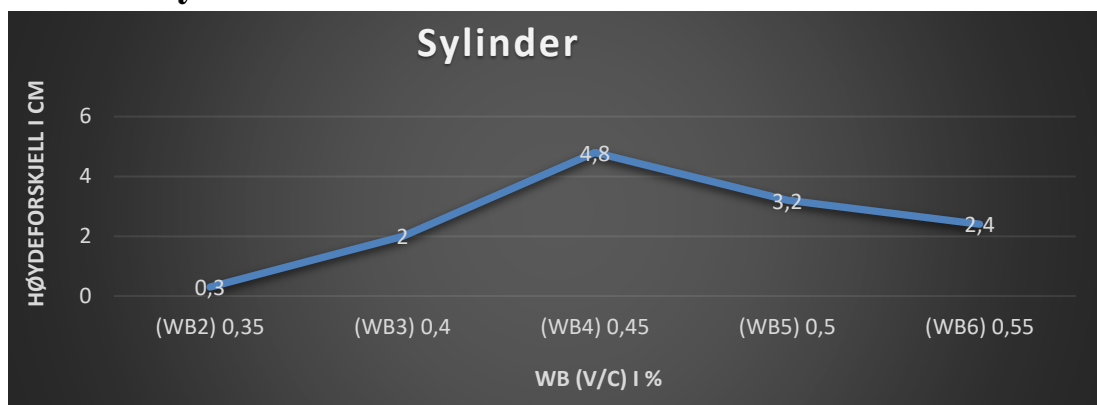
### 5.3.1 Flow table resultat



Figur 25 Flow table resultat i V/C

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i WB (v/c) og y-aksen viser diameteren i cm. I WB2 har vi, v/c i 0.35 % og den gir resultater 12.2 cm i diameter i flow, i WB3 har vi, v/c i 0.4 % og den gir resultater 14.25 cm i diameter i flow, i WB4 har vi, v/c i 0.45 % og den gir resultater 12.2 cm i diameter i flow, WB5 har vi, v/c i 0.5 % og den gir resultater 19,5 cm i diameter i flow, WB6 har vi, v/c i 0.55 % og den gir resultater 22,46 cm i diameter i flow.

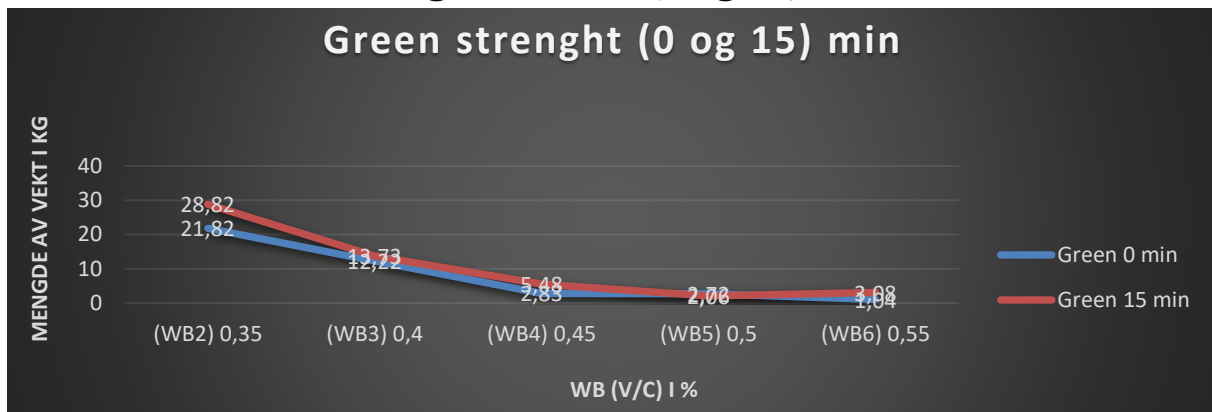
### 5.3.2 Sylinder resultat



*Figur 26 sylinder resultat i forhold til V/C*

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i WB (v/c) og y-aksen viser høyde forskjellen for sylinder test på hver av de enkelte blandningene. I WB2 har vi, WB i 0.35 % og den gir resultater 0.3 cm i sylinder, i WB3 har vi, WB i 0.4 % og den gir resultater 2 cm i sylinder, i WB4 har vi, WB i 0.45 % og den gir resultater 4.8 cm i sylinder, i WB5 har vi, WB i 0.5 % og den gir resultater 3.2 cm i sylinder, og i WB6 har vi, WB i 0.55 % og den gir resultater 2.4 cm i sylinder.

### 5.3.3 Green strength resultat (5 og 15) minutter



*Figur 27 Green strenght resultat etter 0 og 15 min forhold til V/C*

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i WB (v/c) og y-aksen viser mengde av vekt i kg for green strength test i (0 og 15) minutter. WB2 har vi, WB på 0.35 % og den gir resultater 21.82 kg i 0 min og 28.82 kg i 15 min i green strength, i WB3 har vi, WB på 0.4 % og den gir resultater 12.22 kg i 0 min og 13.73 kg i 15 min i green strength, i WB4 har vi, WB på 0.45 % og den gir resultater 2.83 kg i 0 min og 5.48 kg i 15 min i green strength, i WB5 har vi, WB på 0.5 % og den gir resultater 2.72 kg i 0 min og 2.06 kg i 15 min i green strength, i WB6 har vi, WB på 0.55 % og den gir resultater 1.04 kg i 0 min og 3.08 kg i 15 min i green strength.

### 5.3.4 Extrudability resultat

Det ble gjennomført extrudability test i følge av tidligere studiet. Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapittel (4.5.4 extrudability test). Hensikten med testen er å teste betongens evne til å presses ut kontinuerlig, og det å kjenne flytbarheten av betongen resulterer om det er mulig å ekstrudere eller ikke.

Testen i WB2 og WB3 viser i (vedlegg A) at de var ikke ok og for harde for å ekstrudere.

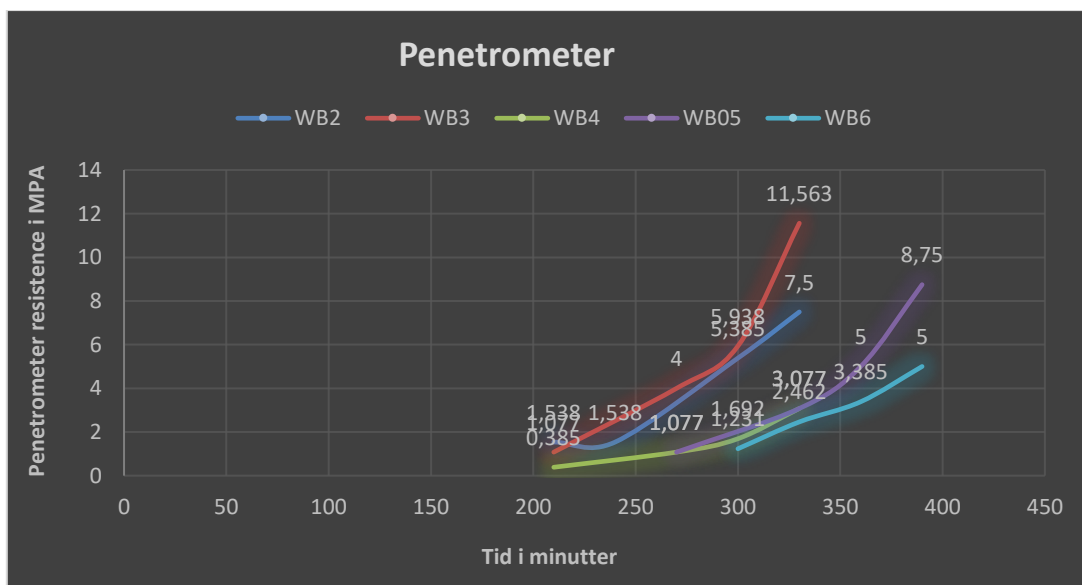
WB4, WB5 og WB6 viser i (vedlegg A) at de var ok og hadde evnen til å ekstrudere, og de ble presset ut kontinuerlig uten overflate feil. WB4 ga resultater 1.370 cm i første måling på 5 cm, 1.580 cm i andre måling på 15 cm og 1.634 cm i tredje måling på 25 cm, WB5 ga resultater 1.609 cm i første måling på 5 cm, 1.682 cm i andre måling på 15 cm og 1.761 cm i tredje måling på 25 cm og WB6 ga resultater 1.696 cm i første måling på 5 cm, 1.743 cm i andre måling på 15 cm og 1.631 cm i tredje måling på 25 cm.

### 5.3.5 Penetrometer resultat

Tabell 16 penetrometer resultat

|                     |     |     |     |     |       |       |       |        |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|--------|
| WB-02-M500-W,35-S.8 | 210 | 240 | 300 | 330 | 1,538 | 1,538 | 5,385 | 3,692  |
| WB-03-M500-W,4-S.8  | 210 | 270 | 300 | 330 | 1,077 | 4     | 5,938 | 11,563 |
| WB-04-M500-W,45-S.8 | 210 | 270 | 300 | 330 | 0,385 | 1,077 | 1,692 | 3,077  |
| WB-05-M500-W,5-S.8  | 270 | 330 | 360 | 390 | 1,077 | 3,077 | 5     | 8,75   |
| WB-06-M500-W,55-S.8 | 300 | 330 | 360 | 390 | 1,231 | 2,462 | 3,385 | 5      |

I denne tabellen over viser registrert tiden det tok i minutter fra første vannet ble tilsatt i blandingen og kraften i MPA som ble påført vertikalt gradvis og jevnt. Det ble gjennomført fire tester i fire forskjellige tider for hver blanding.



Figur 28 penetrometer resultat i forhold til V/C

I grafen over viser x-aksen den tiden det tar i minutter for hver kraft som blir påført og y-aksen viser registrert kraften som ble påført i MPA. I WB2 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 1.538 MPA, i tid 2 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 1.538 MPA, i tid 3 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 5.385 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 7.5 MPA.

I grafen over viser x-aksen den tiden det tar i minutter for hver kraft som blir påført og y-aksen viser registrert kraften som ble påført i MPA. I WB2 viser tid 1 etter 210 minutter og

den registrerte påført kraften er 1.538 MPA, i tid 2 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 1.538 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 5.385 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 3,692 MPA.

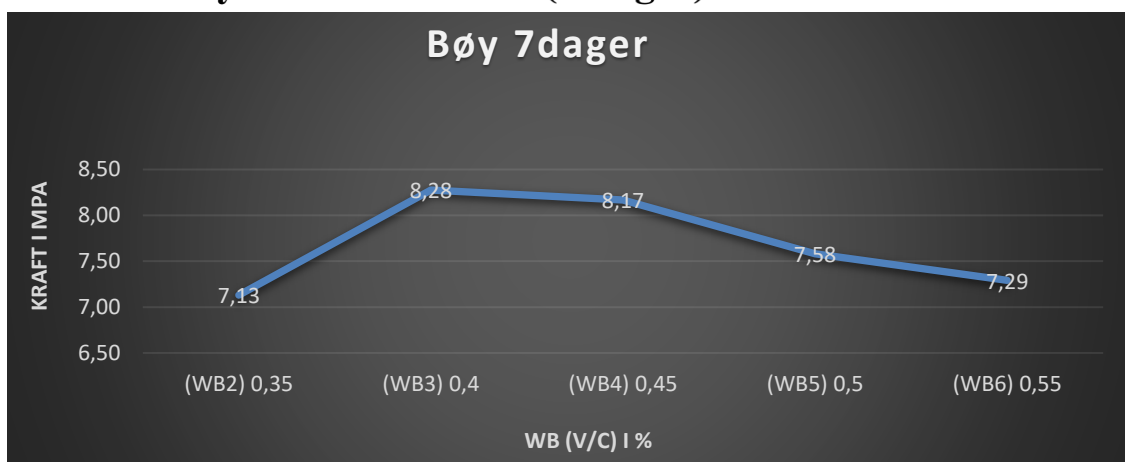
I WB3 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 1.077 MPA, i tid 2 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 4 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 5.938 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 11.563 MPA.

I WB4 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 0.385 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 1.077 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 1.692 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 3.077 MPA.

I WB5 viser tid 1 etter 270 minutter og den registrerte påført kraften er 1.077 MPA, i tid 2 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 3.077 MPA, i tid 3 etter 360 minutter ble den registrerte påført kraften 5 MPA og i tid 4 etter 390 minutter ble den registrerte påført kraften 8.75 MPA.

I WB6 viser tid 1 etter 300 minutter og den registrerte påført kraften er 1.231 MPA, i tid 2 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 2.462 MPA, i tid 3 etter 360 minutter ble den registrerte påført kraften 3.385 MPA og i tid 4 etter 390 minutter ble den registrerte påført kraften 5 MPA.

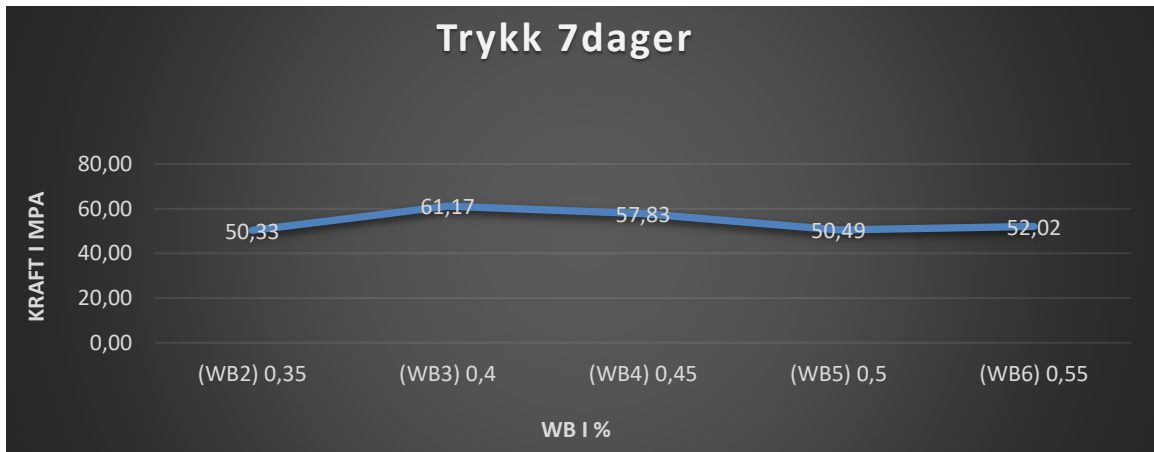
### 5.3.6 Bøyefasthet resultat (7 dager)



Figur 29 Bøyefasthet etter 7 dager i V/C

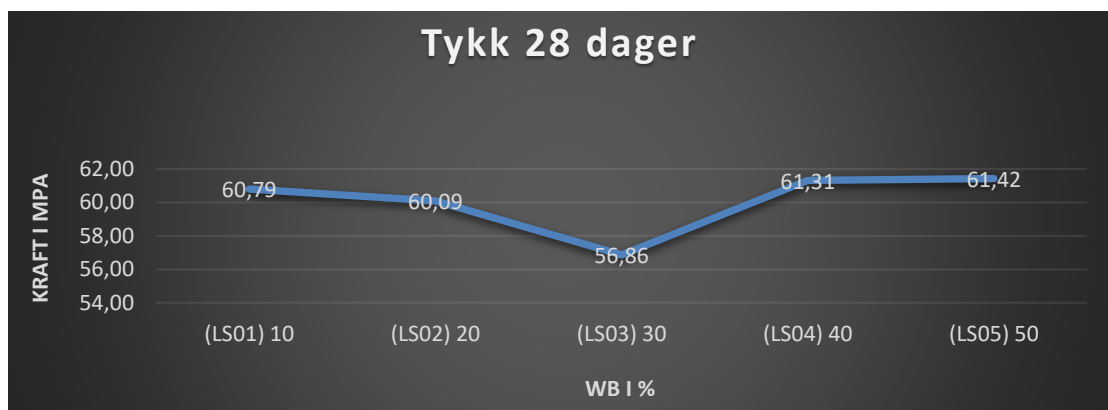
I grafen over viser x-aksen WB og y-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I WB2 har vi, WB 0.35 og den gir resultater i bøyefasthet på 7.13 MPA, i WB3 har vi, WB 0.4 og den gir resultater i bøyefasthet på 8.28 MPA, i WB4 har vi, WB 0.45 og den gir resultater i bøyefasthet på 8.17 MPA, i WB5 har vi, 0.5 og den gir resultater i bøyefasthet på 7.58 MPA, i WB6 har vi, WB 0.55 og den gir resultater i bøyefasthet på 7.29 MPA,

### 5.3.7 Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager



Figur 30 Trykkfasthet resultat etter 7 dager i V/C

I grafen over viser x-aksen WB (v/c) i % og y-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I WB2 har vi, WB i 0.35 % og den gir resultater 50.33 MPA i trykkfasthet, i WB3 har vi, WB i 0.3 % og den gir resultater 61.17 MPA i trykkfasthet, i WB4 har vi, WB i 0.45 % og den gir resultater 57.83 MPA i trykkfasthet, i WB5 har vi, WB i 0.5 % og den gir resultater 50.49 MPA i trykkfasthet, og i WB6 har vi, WB i 0.55 % og den gir resultater 52.02 MPA i trykkfasthet.



Figur 31 Trykk resultat etter 28 dager i V/C



I grafen over viser x-aksen WB (v/c) i % og y-aksen viser kraften i MPA i 28 dager. I WB2 har vi, WB i 0.35 % og den gir resultater 60.79 MPA i trykkfasthet, i WB3 har vi, WB i 0.3 % og den gir resultater 60.09 MPA i trykkfasthet, i WB4 har vi, WB i 0.45 % og den gir resultater 56.86 MPA i trykkfasthet, i WB5 har vi, WB i 0.5 % og den gir resultater 61.31 MPA i trykkfasthet, og i WB6 har vi, WB i 0.55 % og den gir resultater 61.42 MPA i trykkfasthet.

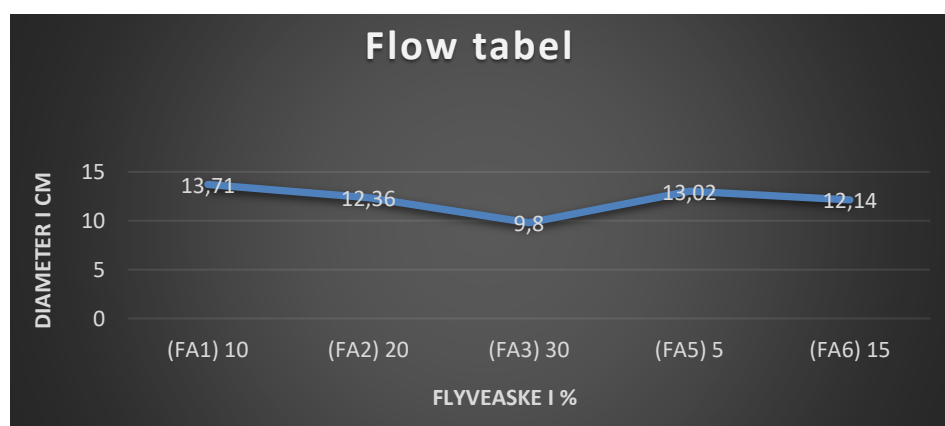
## 5.4 Flyveaske

Tabell 17 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i FA

| mix desgin              | Matrialer |        |              |          |             |     |              |     |            |           |  |
|-------------------------|-----------|--------|--------------|----------|-------------|-----|--------------|-----|------------|-----------|--|
|                         | Sand(g)   | SP(g)  | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash     | W/C | Matrix volum | SP% | Kalkstein% | flyvaske% |  |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10 | 3164,992  | 14,104 |              | 511,839  | 141,0355645 | 0.4 | 500          | 1   | 0          | 10        |  |
| FA-2-M500-W,4-S.1-FA-20 | 3164,992  | 14,708 |              | 474,279  | 294,16720   | 0.4 | 500          | 1   | 0          | 20        |  |
| FA-3-M500-W,4-S.1-FA-30 | 3164,992  | 15,367 |              | 433,354  | 461,02079   | 0.4 | 500          | 1   | 0          | 30        |  |
| FA-5-M500-W,4-S.1-FA-5  | 3164,992  | 13,819 |              | 529,484  | 69,097      | 0.4 | 500          | 1   | 0          | 5         |  |
| FA-6-M500-W,4-S.1-FA-15 | 3164,992  | 14,400 |              | 493,453  | 215,994     | 0.4 | 500          | 1   | 0          | 15        |  |
| FA-4-M500-W,4-S.1-FA-40 | 3164,992  | 15,367 |              | 433,354  | 461,02079   | 0.4 | 500          | 1   | 0          | 30        |  |

I denne tabellen over viser den de forskjellig mengde av materialer for hver av de blandingene. Tabellen viser antall prosent av flyg aske som starter med miks design FA-1 til FA-6 og vi ser at den øker i prosent fra 10 % til 30 %. Tabellen viser antall prosent av flyveaske som starter med miks design FA1 til FA6 og vi ser at den øker i prosent fra 5 % til 30 %.

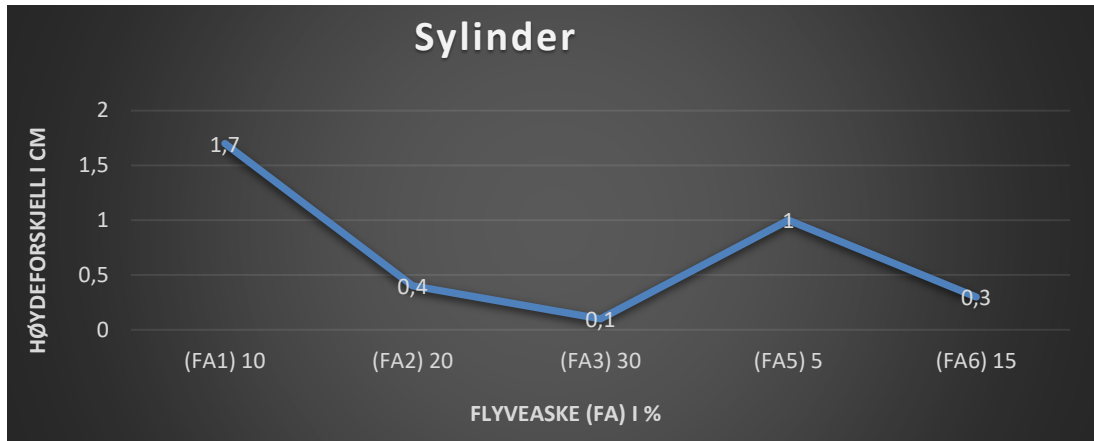
### 5.4.1 Flow table resultat



Figur 32 Flow table resultater i FA

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i flyveaske (FA) og y-aksen viser diameteren i cm. I FA1 har vi, FA i 10 % og den gir resultater 13.71 cm i diameter i flow, i FA2, har vi, FA i 20 % og den gir resultater 12.36 cm i diameter i flow, i FA3 har vi, FA i 30 % og den gir resultater 9.8 cm i diameter i flow, i FA5, har vi, FA i 5 % og den gir resultater 13.02 cm i diameter i flow, og i FA6 har vi, FA i 15 % og den gir resultater 12.14 cm i diameter i flow.

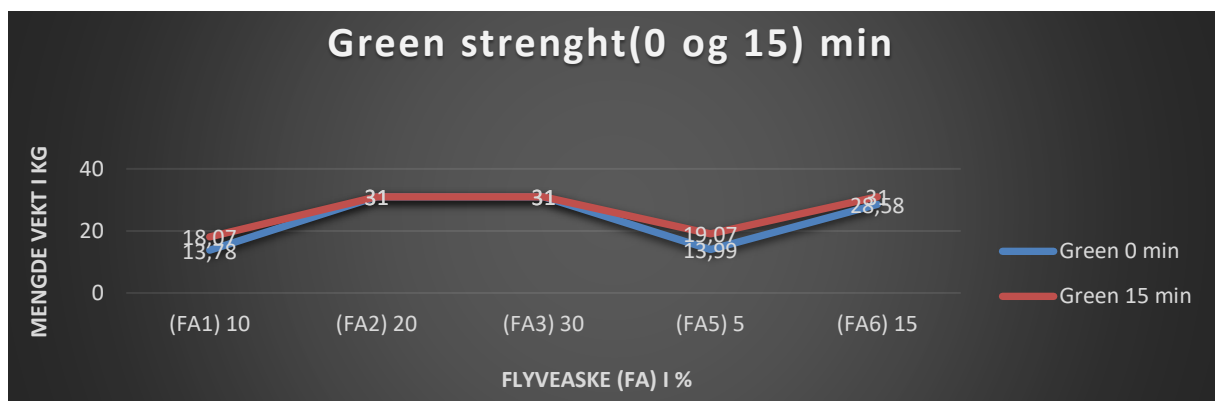
### 5.4.2 Sylinder resultat



Figur 33 Sylinder resultat i FA

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i flyveaske (FA) og y-aksen viser høyde forskjellen i cm for sylinder test på hver av de enkelte blandingene. I FA1 har vi, FA i 10 % og den gir resultater 1.7 cm i sylinder, i FA2 har vi, FA i 20 % og den gir resultater 0.4 cm sylinder, i FA3 har vi, FA i 30 % og den gir resultater 0.1 cm i sylinder, i FA5 har vi, FA i 5 % og den gir resultater 1 cm i sylinder, og i FA6 har vi, FA i 15 % og den gir resultater 0.3 cm i sylinder.

### 5.4.3 Green strength resultat



Figur 34 Green strength etter 0 og 15 min i FA

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i flyveaske (FA) i % og y-aksen viser mengde av vekt i kg for green strength test i (0 og 15) minutter. FA1 har vi, FA i 10 % og den gir resultater 13.78 kg i 0 min og 18.07 kg i 15 min i green strength, i FA2 har vi, FA i 20 % og den gir resultater 31 kg i 0 min og 31 kg i 15 min i green strength, i FA3 har vi, FA i 30 % og den gir resultater 31 kg i 0 min og 31 kg i 15 min i green strength, i FA5 har vi, FA i 5 % og den gir resultater 13.99 kg i 0 min og 19.07 kg i 15 min i green strength, i FA6 har vi, FA i 15 % og den gir resultater 28.58 kg i 0 min og 31 kg i 15 min i green strength.

#### 5.4.4 Extrudability resultat

Det ble gjennomført extrudability test i følge av tidligere studiet. Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapittel (4.5.4 extrudability test). Hensikten med testen er å teste betongens evne til å presses ut kontinuerlig, og det å kjenne flytbarheten av betongen resulterer om det er mulig å ekstrudere eller ikke.

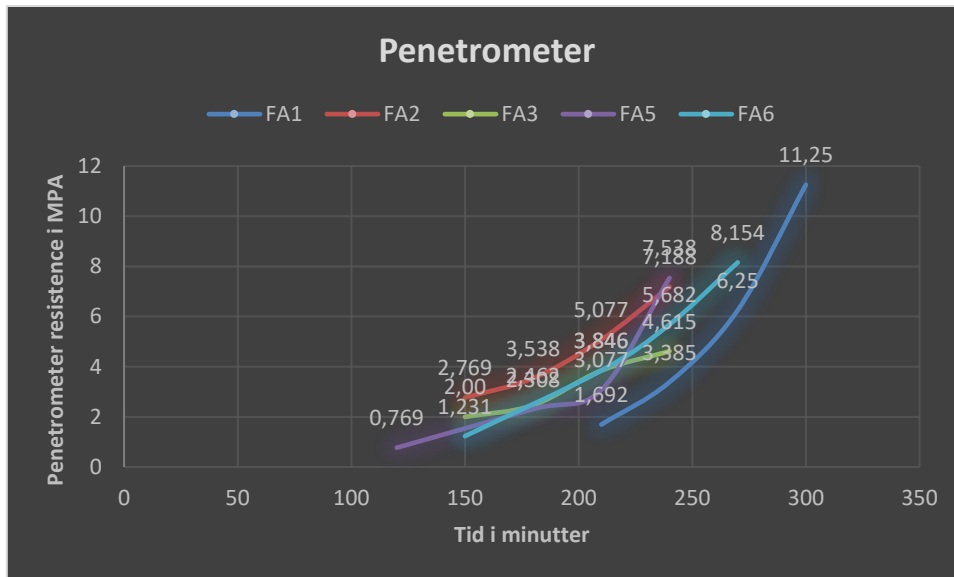
Testene fra FA1 til FA6 viser i (vedlegg A) at de var ikke ok og at de var for harde for å ekstrudere.

#### 5.4.5 Penetrometer resultat

*Tabell 18 Penetrometer resultat i FA*

|                         |     |     |     |     |       |       |       |       |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10 | 210 | 240 | 270 | 300 | 1,692 | 3,385 | 6,25  | 11,25 |
| FA-2-M500-W,4-S.1-FA-20 | 150 | 180 | 210 | 240 | 2,769 | 3,538 | 5,077 | 7,188 |
| FA-3-M500-W,4-S.1-FA-30 | 150 | 180 | 210 | 240 | 2,00  | 2,462 | 3,846 | 4,615 |
| FA-5-M500-W,4-S.1-FA-5  | 120 | 180 | 210 | 240 | 0,769 | 2,308 | 3,077 | 7,538 |
| FA-6-M500-W,4-S.1-FA-15 | 150 | 210 | 240 | 270 | 1,231 | 3,846 | 5,682 | 8,154 |

I denne tabellen over viser registrert tiden det tok i minutter fra første vannet ble tilsatt i blandingen og kraften i MPA som ble påført vertikalt gradvis og jevnt. Det ble gjennomført fire tester i fire forskjellige tider for hver blanding.



*Figur 35 Penetrometer resultat i FA*

I grafen over viser x-aksen den tiden det tar i minutter for hver kraft som blir påført og y-aksen viser registrert kraften som ble påført i MPA. I FA1 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 1.692 MPA, i tid 2 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 3.385 MPA, i tid 3 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 6.25 MPA og i tid 4 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 11.25 MPA.

I FA2 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 2.769 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 3.538 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 5.077 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 7.188 MPA.

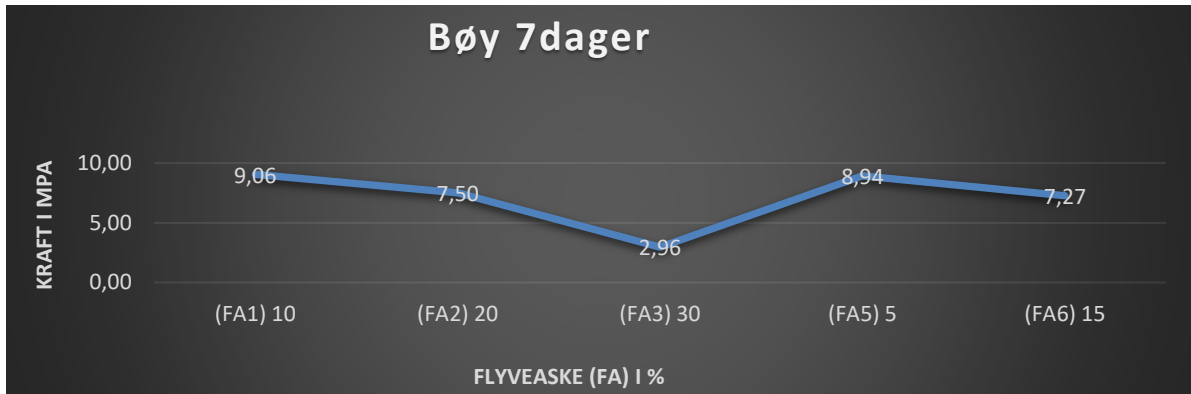
I FA3 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 2 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 2.462 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 3.846 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 4.615 MPA.

I FA5 viser tid 1 etter 120 minutter og den registrerte påført kraften er 0.769 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 2.308 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 3.077 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 7.538 MPA.

I FA6 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 1.231 MPA, i tid 2 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 3.846 MPA, i tid 3 etter 240 minutter ble den

registrerte påført kraften 5.682 MPA og i tid 4 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 8.154 MPA.

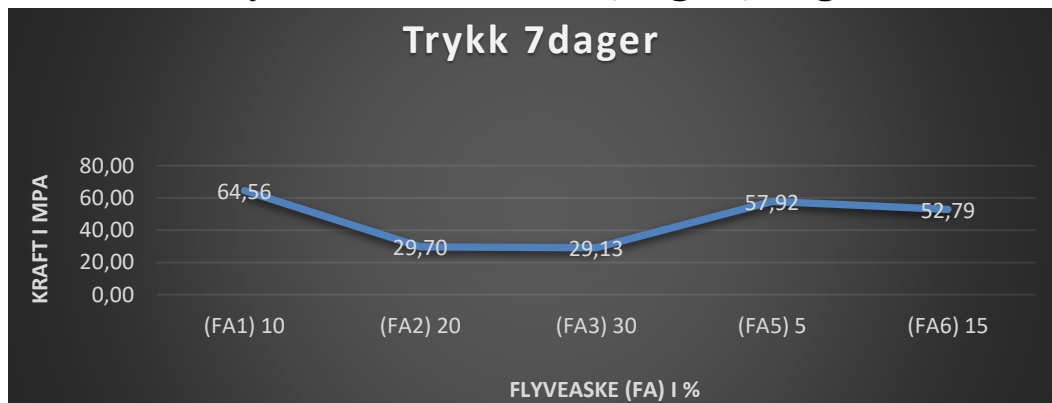
### 5.4.6 Bøyefasthet resultat 7 dager



*Figur 36 Bøy resultat etter 7 dager i FA*

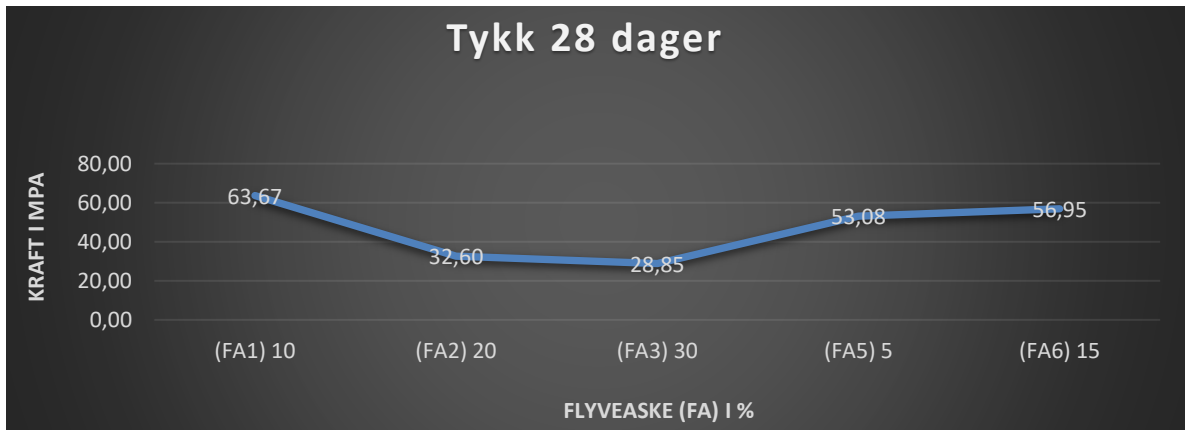
I grafen over viser x-aksen flyveaske (FA) i % og y-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I FA1 har vi, FA i 10 % og den gir resultater 9.06 MPA i bøyefasthet, i FA2 har vi, FA i 20 % og den gir resultater 7.50 MPA i bøyefasthet, i FA3 har vi, FA i 30 % og den gir resultater 2.96 MPA i bøyefasthet, i FA5 har vi, FA i 5 % og den gir resultater 8.94 MPA i bøyefasthet og i FA6 har vi, FA i 15 % og den gir resultater 7.27 MPA i bøyefasthet.

### 5.4.7 Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager



*Figur 37 Trykk resultat etter 7 dager i FA*

I grafen over viser x-aksen flyveaske (FA) i % og y-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I FA1 har vi, FA i 10 % og den gir resultater 64.56 MPA i trykkfasthet, i FA2 har vi, FA i 20 % og den gir resultater 29.70 MPA i trykkfasthet, i FA3 har vi, FA i 30 % og den gir resultater 29.13 MPA i trykkfasthet, i FA5 har vi, FA i 5 % og den gir resultater 57.92 MPA i trykkfasthet, og i FA6 har vi, FA i 15 % og den gir resultater 52.79 MPA i trykkfasthet.



Figur 38 Trykk resultat etter 28 dager i FA

I grafen over viser x-aksen flyveaske (FA) i % og y-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I FA1 har vi, FA i 10 % og den gir resultater 63.67 MPA i trykkfasthet, i FA2 har vi, FA i 20 % og den gir resultater 32.60 MPA i trykkfasthet, i FA3 har vi, FA i 30 % og den gir resultater 28.85 MPA i trykkfasthet, i FA5 har vi, FA i 5 % og den gir resultater 53.08 MPA i trykkfasthet, og i FA6 har vi, FA i 15 % og den gir resultater 56.95 MPA i trykkfasthet.

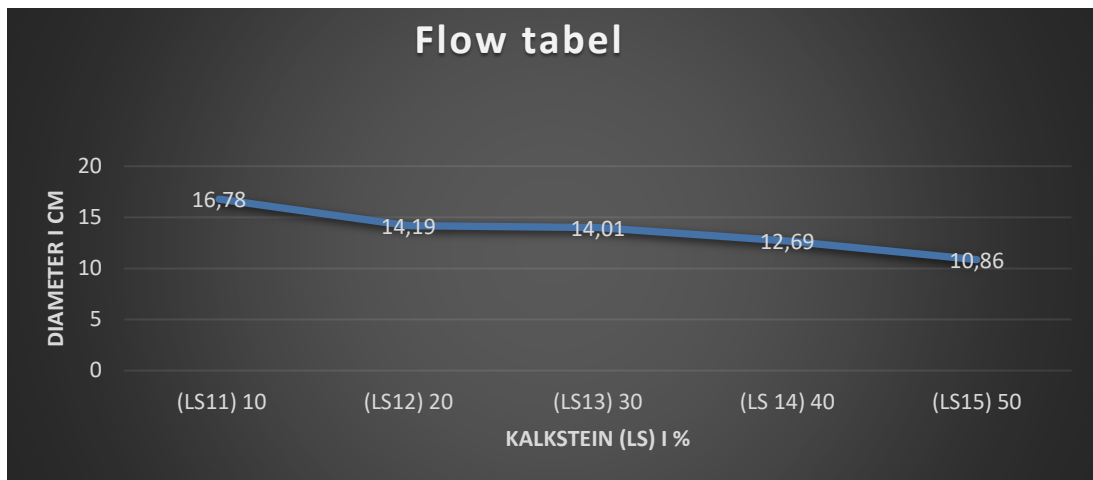
## 5.5 Ekstra kalkstein (LS)

Tabell 19 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i LS

| Dato       | Tidspunkt | mix desgin | Matrialer |          |        |              |          |         |      |              |     |            |
|------------|-----------|------------|-----------|----------|--------|--------------|----------|---------|------|--------------|-----|------------|
|            |           |            | Cement(g) | Sand(g)  | SP(g)  | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C  | Matrix volum | SP% | Kalkstein% |
| 08.05.2021 |           | LS-11      | 1210,757  | 3164,992 | 13,318 | 121,076      | 560,587  |         | 0,45 | 500          | 1   | 10         |
| 08.05.2021 |           | LS-12      | 1157,598  | 3164,992 | 13,891 | 231,520      | 536,666  |         | 0,45 | 500          | 1   | 20         |
| 08.05.2021 |           | LS-13      | 1108,911  | 3164,992 | 14,416 | 332,673      | 514,756  |         | 0,45 | 500          | 1   | 30         |
| 08.05.2021 |           | LS-14      | 1064,154  | 3164,992 | 14,898 | 425,662      | 494,616  |         | 0,45 | 500          | 1   | 40         |
| 08.05.2021 |           | LS-15      | 1022,870  | 3164,992 | 15,343 | 511,435      | 476,038  |         | 0,45 | 500          | 1   | 50         |

I denne tabellen over viser den de forskjellige mengde av materialer for hver av de blandingene. Tabellen viser antall prosent av flyg aske som starter med miks design FA-1 til FA-6 og vi ser at den øker i prosent fra 10 % til 50 %.

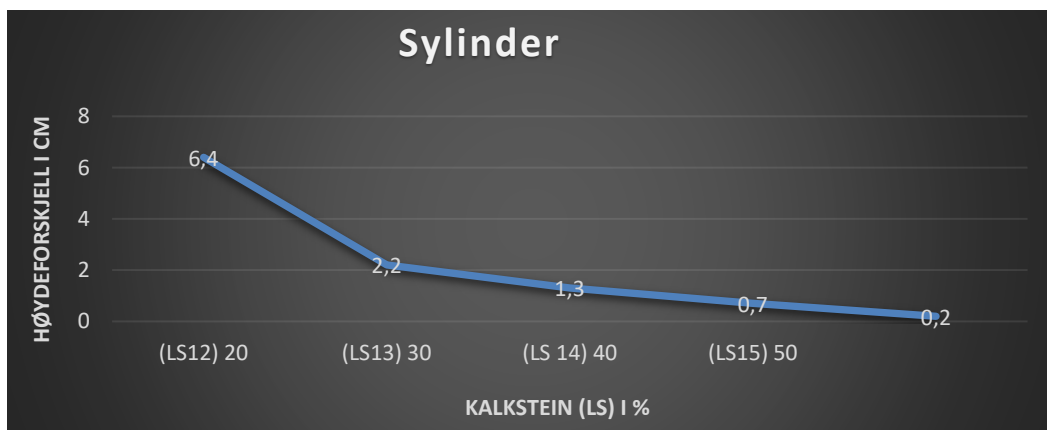
## 5.5.1 Flow table resultat



Figur 39 Flow table resultat i LS

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i kalkstein og y-aksen viser diameteren og hvor flytende hver av de enkelte blandingene er. Vi ser at i LS11 har vi, kalkstein i 10 % og den gir resultater 16.78 cm i diameter i flow, i LS12 har vi, kalkstein i 20 % og den gir resultater 14.19 cm i diameter i flow, i LS13 har vi, kalkstein i 30 % og den gir resultater 14.01 cm i diameter i flow, i LS14 har vi, kalkstein i 40 % og den gir resultater 12.69 cm i diameter i flow, og i LS15 har vi, kalkstein i 50 % og den gir resultater 10.86 cm i diameter i flow.

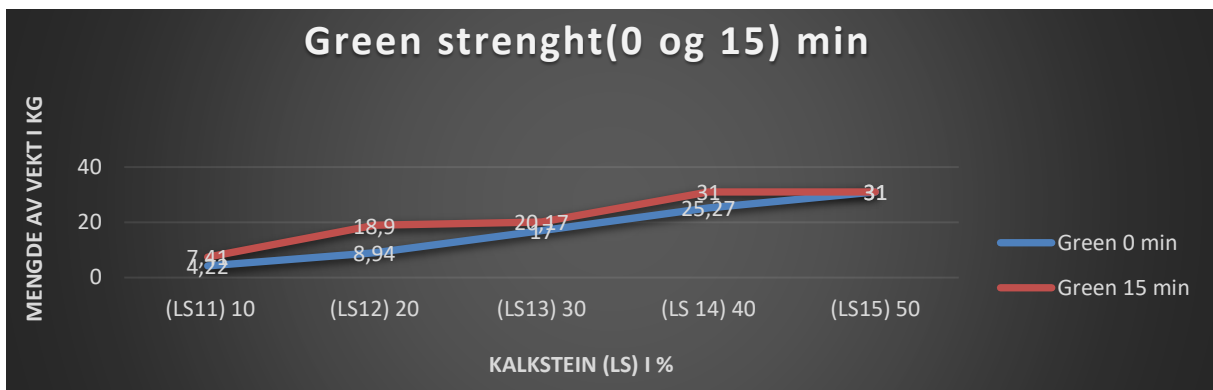
## 5.5.2 Sylinder resultat



Figur 40 sylinder resultat i forhold til LS

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i kalkstein og y-aksen viser høyde forskjellen for sylinder test på hver av de enkelte blandningene. I LS11 har vi, kalkstein i 10 % og den gir resultater 6.4 cm i sylinder, i LS12 har vi, kalkstein i 20 % og den gir resultater 2.2 cm i sylinder, i LS13 har vi, kalkstein i 30 % og den gir resultater 1.3 cm i sylinder, i LS14 har vi, kalkstein i 40 % og den gir resultater 0.7 cm i sylinder og i LS15 har vi, kalkstein i 50 % og den gir resultater 0.2 cm i sylinder.

### 5.5.3 Green strenght resultat



Figur 41 Green strenght resultat i LS

I grafen over viser x-aksen den prosent andelen i kalkstein (LS) og y-aksen viser mengde av vekt i kg for green strenght test i (0 og 15) minutter. I LS11 har vi, LS i 10 % og den gir resultater 4.22 kg i 0 min og 7.41 kg i 15 min i green strenght, i LS12 har vi, LS i 20 % og den gir resultater 8.94 kg i 0 min og 18.9 kg i 15 min i green strenght, i LS13 har vi, LS i 30 % og den gir resultater 17 kg i 0 min og 20.17 kg i 15 min i green strenght, i LS14 har vi, LS i 40 % og den gir resultater 25.27 kg i 0 min og 31 kg i 15 min i green strenght, i LS15 har vi, LS på 50 % og den gir resultater 31 kg i 0 min og 31 kg i 15 min i green strenght.

### 5.5.4 Extrudability resultat

Det ble gjennomført extrudability test i følge av tidligere studiet. Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapitel (4.5.4 extrudability test). Hensikten med testen er å teste betongens evne



til å presses ut kontinuerlig, og det å kjenne flytbarheten av betongen resulterer om det er mulig å ekstrudere eller ikke.

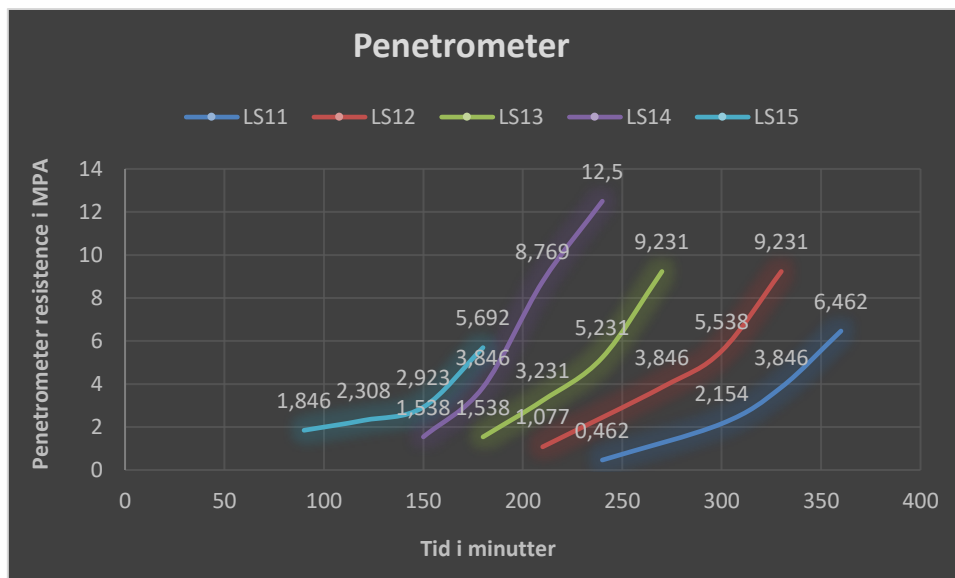
Testene for kalkstein (LS) fra LS11 til LS15 viser i (vedlegg A) at de var ikke ok og at de var for harde for å ekstrudere.

## 5.5.5 Penetrometer resultat

Tabell 20 penetrometer resultat

|       |     |     |     |     |       |       |       |       |
|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| LS-11 | 240 | 300 | 330 | 360 | 0,462 | 2,154 | 3,846 | 6,462 |
| LS-12 | 210 | 270 | 300 | 330 | 1,077 | 3,846 | 5,538 | 9,231 |
| LS-13 | 180 | 210 | 240 | 270 | 1,538 | 3,231 | 5,231 | 9,231 |
| LS-14 | 150 | 180 | 210 | 240 | 1,538 | 3,846 | 8,769 | 12,5  |
| LS-15 | 90  | 120 | 150 | 180 | 1,846 | 2,308 | 2,923 | 5,692 |

I denne tabellen over viser registrert tiden det tok i minutter fra første vannet ble tilsatt i blandingen og kraften i MPA som ble påført vertikalt gradvis og jevnt. Det ble gjennomført fire tester i fire forskjellige tider for hver blanding.



Figur 42 penetrometer resultat i forhold til kalkstein

I grafen over viser x-aksen den tiden det tar i minutter for hver kraft som blir påført og y-aksen viser registrert kraften som ble påført i MPA. I LS11 viser tid 1 etter 240 minutter og den registrerte påført kraften er 0.462 MPA, i tid 2 etter 300 minutter ble den registrerte påført

kraften 2.154 MPA, i tid 3 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 3.846 MPA og i tid 4 etter 360 minutter ble den registrerte påført kraften 6.462 MPA.

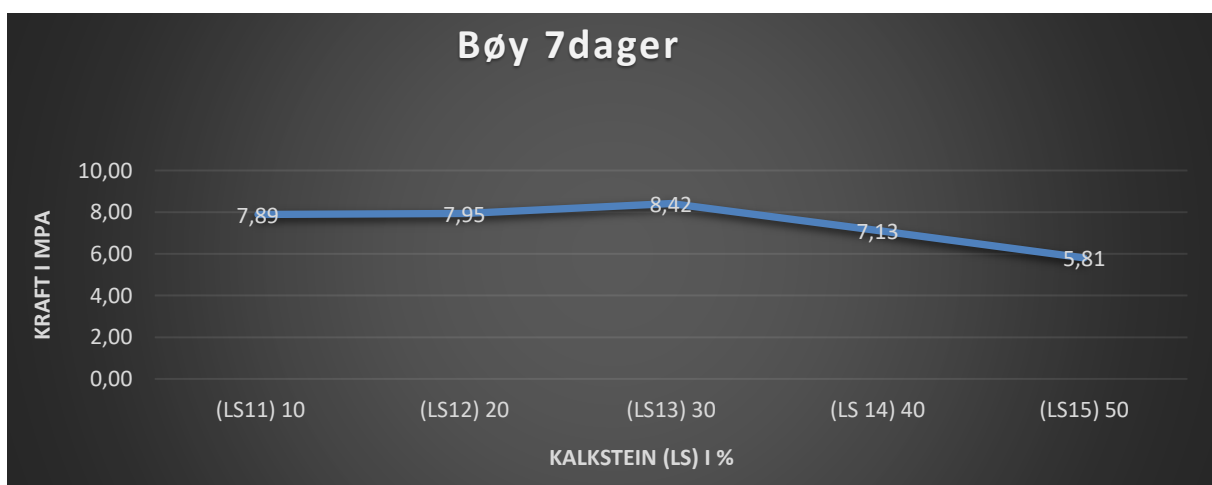
I LS12 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 1.077 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 3.846 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 5.538 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 9.231 MPA.

I LS13 viser tid 1 etter 180 minutter og den registrerte påført kraften er 1.538 MPA, i tid 2 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 3.231 MPA, i tid 3 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 5.231 MPA og i tid 4 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 9.231 MPA.

I LS14 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 1.538 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 3.846 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 8.769 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 12.5 MPA.

I LS15 viser tid 1 etter 90 minutter og den registrerte påført kraften er 1.846 MPA, i tid 2 etter 120 minutter ble den registrerte påført kraften 2.308 MPA, i tid 3 etter 150 minutter ble den registrerte påført kraften 2.923 MPA og i tid 4 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 5.692 MPA.

### 5.5.6 Bøyefasthet resultat 7 dager



Figur 43 Bøy resultat etter 7dager i forhold til kalkstein

I grafen over viser x-aksen kalkstein (LS) i % og y-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I LS11 har vi, LS i 10 % og den gir resultater 7.89 MPA i bøyefasthet, i LS12 har vi, LS i 20 % og den gir resultater 7.95 MPA i bøyefasthet, i LS13 har vi, LS i 30 % og den gir resultater 8.42 MPA i bøyefasthet, i LS14 har vi, LS i 40 % og den gir resultater 7.13 MPA i bøyefasthet og i LS15 har vi, LS i 50 % og den gir resultater 5.81 MPA i bøyefasthet.

### 5.5.7 Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager



Figur 44 Trykk resultat etter 7 dager i forhold til kalkstein

I grafen over viser x-aksen kalkstein (LS) i % og y-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I LS11 har vi, LS i 10 % og den gir resultater 49.94 MPA i trykkfasthet, i LS12 har vi, LS i 20 % og den gir resultater 51.95 MPA i trykkfasthet, i LS13 har vi, LS i 30 % og den gir resultater 51.37 MPA i trykkfasthet, i LS14 har vi, LS i 40 % og den gir resultater 46.81 MPA i trykkfasthet, og i LS15 har vi, LS i 50 % og den gir resultater 40.47 MPA i trykkfasthet.



Figur 45 trykk resultat etter 28 dager i forhold til kalkstein

I grafen over viser x-aksen kalkstein (LS) i % og y-aksen viser kraften i MPA i 28 dager. I LS11 har vi, LS i 10 % og den gir resultater 55,26 MPA i trykkfasthet, i LS12 har vi, LS i 20

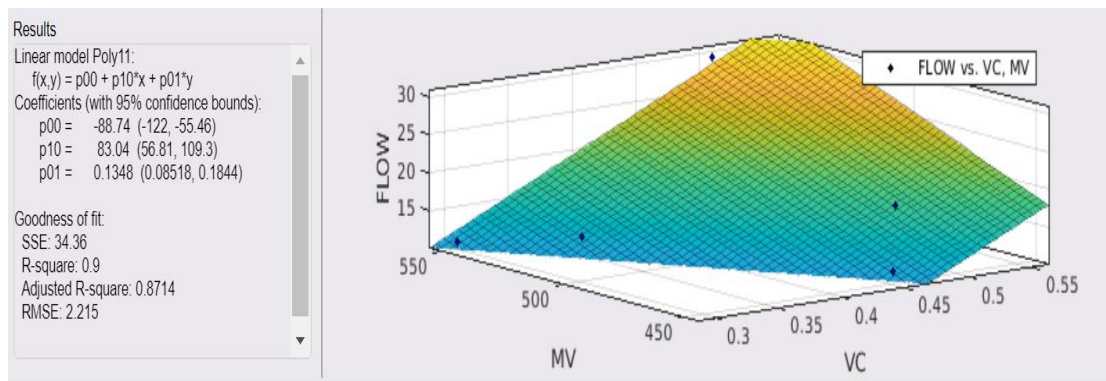
% og den gir resultater 53,81 MPA i trykkfasthet, i LS13 har vi, LS i 30 % og den gir resultater 55,17 MPA i trykkfasthet, i LS14 har vi, LS i 40 % og den gir resultater 49,04 MPA i trykkfasthet, og i LS15 har vi, LS i 50 % og den gir resultater 35,94 MPA i trykkfasthet.

## 5.6 Matriks volum (MV) - V/C

Tabell 21 Mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen

| Dato       | Tidspunkt | mix desgin       |          | Matrialer |          |        |              |          |         |      |              |
|------------|-----------|------------------|----------|-----------|----------|--------|--------------|----------|---------|------|--------------|
|            |           |                  |          | Cement(g) | Sand(g)  | SP(g)  | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C  | Matrix volum |
| 20.04.2021 | 11:23:00  | VC1-M450W45S1    | MV - V/C | 1107,399  | 3494,679 | 11,074 |              | 506,580  |         | 0.45 | 450          |
| 20.04.2021 | 10:47:00  | VC2-M450W.5S1    |          | 1039,945  | 3494,679 | 10,399 |              | 528,779  |         | 0.5  | 450          |
| 18.04.2021 | 10:45:00  | VC3-M550W30S1    |          | 1770,739  | 2835,306 | 17,707 |              | 530,719  |         | 0.3  | 550          |
| 20.04.2021 | 10:04:00  | VC4-M550W35S1    |          | 1638,763  | 2835,306 | 16,388 |              | 574,153  |         | 0.35 | 550          |
| 22.04.2021 | 10:41:00  | VC5-M550W45S1    |          | 1426,172  | 2835,306 | 14,262 |              | 644,118  |         | 0.45 | 550          |
| 22.04.2021 | 11:17:00  | VC6-M550W.5S1    |          | 1339,301  | 2835,306 | 13,393 |              | 672,707  |         | 0.5  | 550          |
| 04.05.2021 | 10:40:00  | VC7-M475W.5-S1   |          | 1114,784  | 3329,836 | 11,148 |              | 564,761  |         | 0.5  | 475          |
| 04.05.2021 | 11:15:00  | VC8-M475W.55-S1  |          | 1050,779  | 3329,836 | 10,508 |              | 585,826  |         | 0.55 | 475          |
| 04.05.2021 | 11:55:00  | VC9-M525W.35-S1  |          | 1547,190  | 3000,149 | 15,472 |              | 543,678  |         | 0.35 | 525          |
| 04.05.2021 | 12:32:00  | VC11-M525W.45-S1 |          | 1346,479  | 3000,149 | 13,465 |              | 609,733  |         | 0.45 | 525          |

### 5.6.1 Flow table resultat

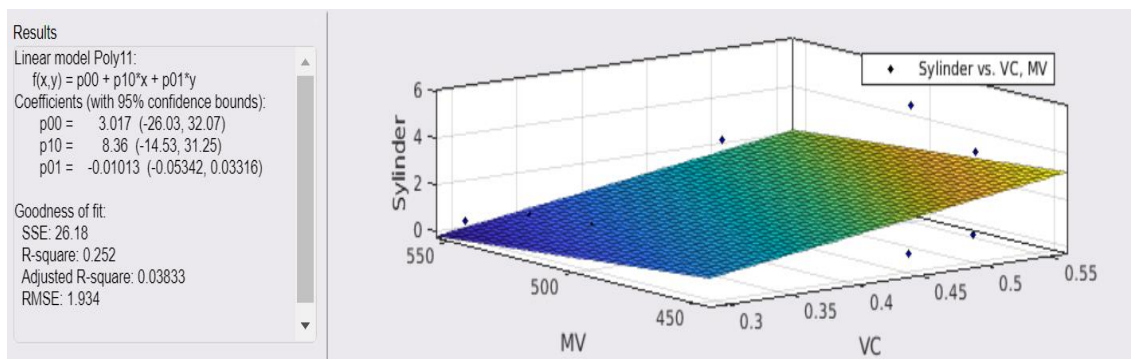


Figur 46 Flow table resultat MV – V/C

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og v/c, x-aksen viser v/c, y-aksen viser matriks volum (MV) og z-aksen viser diameteren i cm i flow. Vi ser at i VC-1 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 11.73 cm i diameter i flow, i VC-2 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 11.76 cm i diameter i flow, i VC-3 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.3 % og den gir resultater 11.02 cm i diameter i flow, i VC-4 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 11.29 cm i diameter i flow, i VC-5 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.45 % og den gir

resultater 21.67 cm i diameter i flow, i VC-6 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 30 cm i diameter i flow, i VC-7 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 16.98 cm i diameter i flow, i VC-8 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.55 % og den gir resultater 19.37 cm i diameter i flow, i VC-9 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 12.38 cm i diameter i flow og i VC-11 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 19.1 cm i diameter i flow.

## 5.6.2 Sylinder resultat

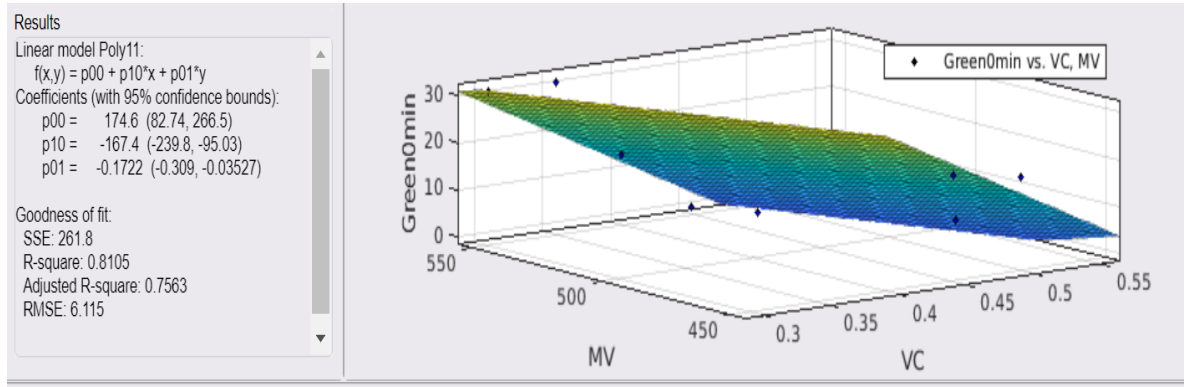


Figur 47sylinder resultat MV – V/C

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og v/c, x-aksen viser v/c og y-aksen viser matriks volum og z-aksen viser høyde forskjellen i cm i sylinder. Vi ser at i VC-1 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 0.5 cm i sylinder, i VC-2 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 0.9 cm i sylinder, i VC-3 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.3 % og den gir resultater 0.5 cm i sylinder, i VC-4 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 0.3 cm i sylinder, i VC-5 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 0 cm i sylinder, i VC-6 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 0 cm i sylinder, i VC-7 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 5.8 cm i sylinder, i VC-8 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.55 % og den gir resultater 3.4 cm i sylinder, i VC-9 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 0.5 cm i sylinder og i VC-11 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 3.4 cm i sylinder.

### 5.6.3 Green strength resultat (0 og 15 min)

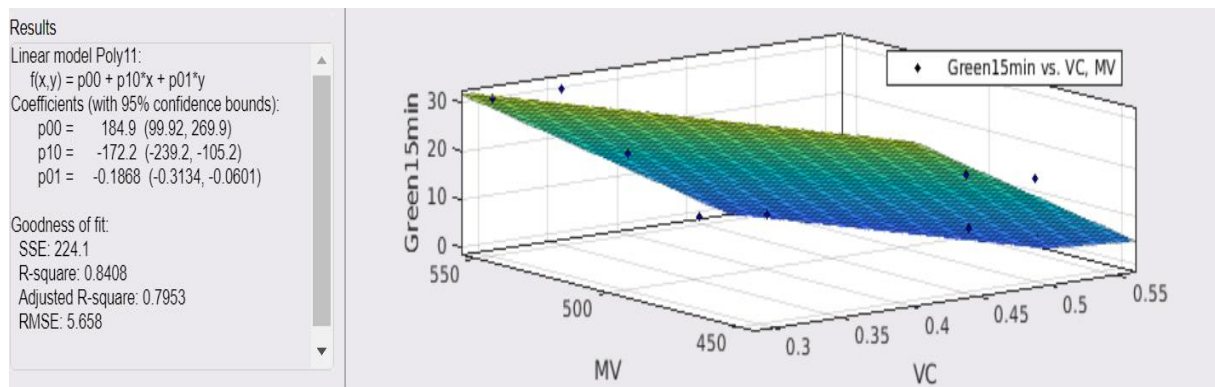
0 min



Figur 48 Green strength i 0 min resultat MV – V/C

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og v/c, x-aksen viser v/c og y-aksen viser matriks volum og z-aksen viser mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i VC-1 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 20.97 kg i 0 minutter i green strength, i VC-2 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 18.45 kg i 0 minutter i green strength, i VC-3 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.3 % og den gir resultater 31 kg i 0 minutter i green strength, i VC-4 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 31 kg i 0 minutter i green strength, i VC-5 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 0 kg i 0 minutter i green strength, i VC-6 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 0 kg i 0 minutter i green strength, i VC-7 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 5.57 kg i 0 minutter i green strength, i VC-8 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.55 % og den gir resultater 3.1 kg i 0 minutter i green strength, i VC-9 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 18.97 kg i 0 minutter i green strength og i VC-11 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 2.35 kg i 0 minutter i green strength.

15 min



Figur 49 Green strenght 15 min resultat i forhold til Matrix volum – V/C

I grafen under viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og v/c, x-aksen viser v/c og y-aksen viser matriks volum og z-aksen viser mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i VC-1 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 22.76 kg i 15 minutter i green strength, i VC-2 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 19.84 kg i 15 minutter i green strength, i VC-3 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.3 % og den gir resultater 31 kg i 15 minutter i green strength, i VC-4 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 31 kg i 15 minutter i green strength, i VC-5 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 0 kg i 15 minutter i green strength, i VC-6 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 0 kg i 15 minutter i green strength, i VC-7 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 6.11 kg i 15 minutter i green strength, i VC-8 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.55 % og den gir resultater 3.17 kg i 15 minutter i green strength, i VC-9 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 21 kg i 15 minutter i green strength og i VC-11 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 4.08 kg i 15 minutter i green strength.

### 5.6.4 Extrudability resultat

Det ble gjennomført extrudability test i følge av tidligere studiet (reference). Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapittel (4.4.5 extrudability test). Hensikten med testen er å teste betongens evne til å presses ut kontinuerlig, og det å kjenne flytbarheten av betongen resulterer om det er mulig å ekstrudere eller ikke.

Testen i VC-1, VC-2, VC-3, VC-4 og VC-9 viser i (vedlegg A) at de var ikke ok og at de var for harde for å ekstrudere. I VC-6, VC-7, og VC-8 var ikke ok også, men de var for flytende å ekstrudere.

VC-5 og VC-11 viser i (vedlegg A) at de var ok og hadde evnen til å ekstrudere, og de ble presset ut kontinuerlig uten overflate feil. VC-5 ga resultater 1.566 cm i første måling på 5 cm, 1.938 cm i andre måling på 15 cm og 2.177 cm i tredje måling på 25 cm og VC-11 ga resultater 1.555 cm i første måling på 5 cm, 1.208 cm i andre måling på 15 cm og 1.359 cm i tredje måling på 25 cm.

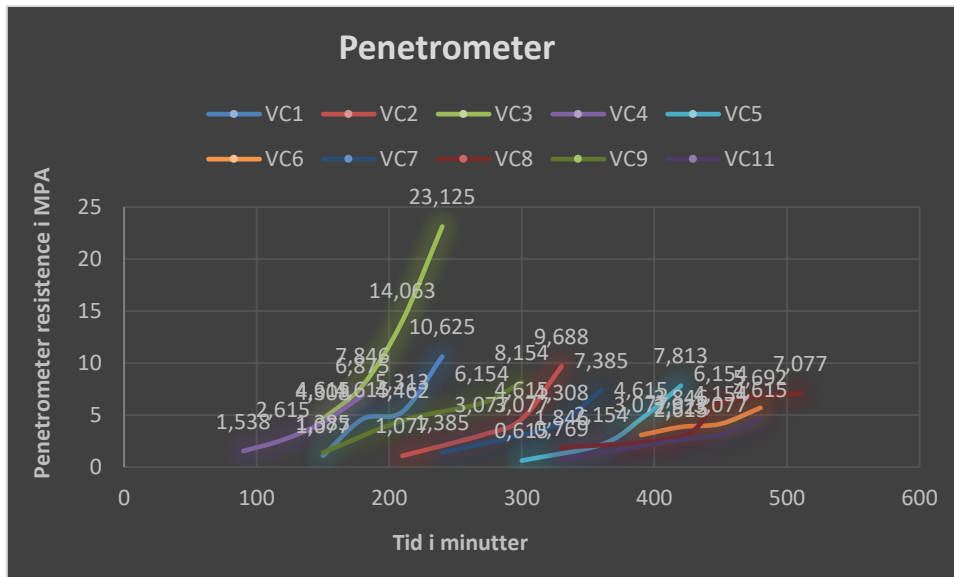
## 5.6.5 Penetrometer resultat

*Tabell 22 penetrometer resultat*

|                  |     |     |     |     |       |       |        |        |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|--------|--------|
| VC1-M450W45S1    | 150 | 180 | 210 | 240 | 1,077 | 4,615 | 5,313  | 10,625 |
| VC2-M450W.5S1    | 210 | 270 | 300 | 330 | 1,077 | 3,077 | 4,615  | 9,688  |
| VC3-M550W30S1    | 150 | 180 | 210 | 240 | 4,615 | 7,846 | 14,063 | 23,125 |
| VC4-M550W35S1    | 90  | 120 | 150 | 180 | 1,538 | 2,615 | 4,308  | 6,875  |
| VC5-M550W45S1    | 300 | 360 | 390 | 420 | 0,615 | 2,154 | 4,615  | 7,813  |
| VC6-M550W.5S1    | 390 | 420 | 450 | 480 | 3,077 | 3,846 | 4,154  | 5,692  |
| VC7-M475W.5-S1   | 240 | 300 | 330 | 360 | 1,385 | 3,077 | 4,308  | 7,385  |
| VC8-M475W.55-S1  | 330 | 420 | 450 | 510 | 1,846 | 2,923 | 6,154  | 7,077  |
| VC9-M525W.35-S1  | 150 | 210 | 270 | 300 | 1,385 | 4,462 | 6,154  | 8,154  |
| VC11-M525W.45-S1 | 330 | 420 | 450 | 480 | 0,769 | 2,615 | 3,077  | 4,615  |

I tabellen over viser den registrert tiden det tok i minutter fra første vannet ble tilsatt i blandingen og kraften i MPA som ble påført vertikalt i gradvis og jevnt. Det ble gjennomført fire tester i fire forskjellige tider for hver blanding.





Figur 50 penetrometer i forhold til VC

I grafen over viser x-aksen den tiden det tar i minutter for hver kraft som blir påført og y-aksen viser registrert kraften som ble påført i MPA. I VC-1 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 1.077 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 4.615 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 5.313 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 10.625 MPA.

I VC-2 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 1.077 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 3.077 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 4.615 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 9.688 MPA.

I VC-3 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 4.615 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 7.846 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 14.063 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 23.125 MPA.

I VC-4 viser tid 1 etter 90 minutter og den registrerte påført kraften er 1.538 MPA, i tid 2 etter 120 minutter ble den registrerte påført kraften 2.615 MPA, i tid 3 etter 150 minutter ble den registrerte påført kraften 4.308 MPA og i tid 4 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 6.875 MPA.

I VC-5 viser tid 1 etter 300 minutter og den registrerte påført kraften er 0.615 MPA, i tid 2 etter 360 minutter ble den registrerte påført kraften 2.154 MPA, i tid 3 etter 390 minutter ble

den registrerte påført kraften 4.615 MPA og i tid 4 etter 420 minutter ble den registrerte påført kraften 7.813 MPA.

I VC-6 viser tid 1 etter 390 minutter og den registrerte påført kraften er 3.077 MPA, i tid 2 etter 420 minutter ble den registrerte påført kraften 3.846 MPA, i tid 3 etter 450 minutter ble den registrerte påført kraften 4.154 MPA og i tid 4 etter 480 minutter ble den registrerte påført kraften 5.692 MPA.

I VC-7 viser tid 1 etter 240 minutter og den registrerte påført kraften er 1.385 MPA, i tid 2 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 3.077 MPA, i tid 3 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 4.308 MPA og i tid 4 etter 360 minutter ble den registrerte påført kraften 7.385 MPA.

I VC-8 viser tid 1 etter 330 minutter og den registrerte påført kraften er 1.846 MPA, i tid 2 etter 420 minutter ble den registrerte påført kraften 2.923 MPA, i tid 3 etter 450 minutter ble den registrerte påført kraften 6.154 MPA og i tid 4 etter 510 minutter ble den registrerte påført kraften 7.077 MPA.

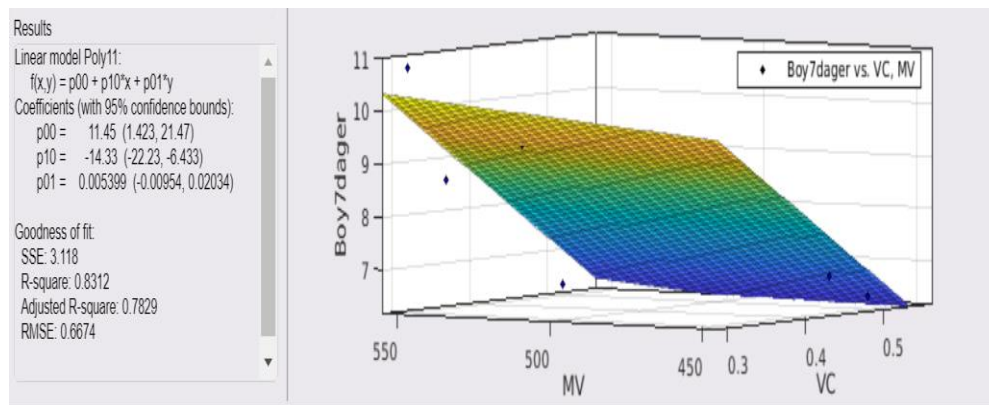
I VC-9 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 1.385 MPA, i tid 2 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 4.462 MPA, i tid 3 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 6.154 MPA og i tid 4 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 8.154 MPA.

I VC-11 viser tid 1 etter 330 minutter og den registrerte påført kraften er 0.769 MPA, i tid 2 etter 420 minutter ble den registrerte påført kraften 2.615 MPA, i tid 3 etter 450 minutter ble den registrerte påført kraften 3.077 MPA og i tid 4 etter 480 minutter ble den registrerte påført kraften 4.615 MPA.

### **5.6.6 Bøyefasthet resultat 7 dager**

I grafen under viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og v/c, x-aksen viser v/c og y-aksen viser matriks volum og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. i VC-1 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 6.87 MPA i bøyefasthet, i VC-2 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 6.44 MPA i bøyefasthet, i VC-3 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.3 % og den gir resultater 10.80 MPA i bøyefasthet, i VC-4 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 8.61 MPA i bøyefasthet, i

VC-5 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 8.47 MPA i bøyefasthet, i VC-6 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 6.40 MPA i bøyefasthet, i VC-7 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 7.12 MPA i bøyefasthet, i VC-8 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.55 % og den gir resultater 6.87 MPA i bøyefasthet, i VC-9 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 9.35 MPA i bøyefasthet og i VC-11 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 8.02 MPA i bøyefasthet.

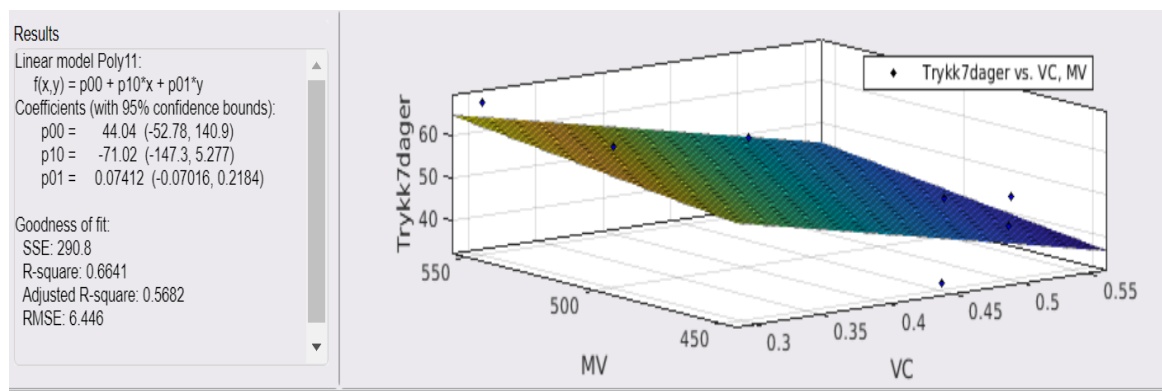


Figur 51 bøyefasthet resultat i forhold til Matrix volum – V/C

## 5.6.7 Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager

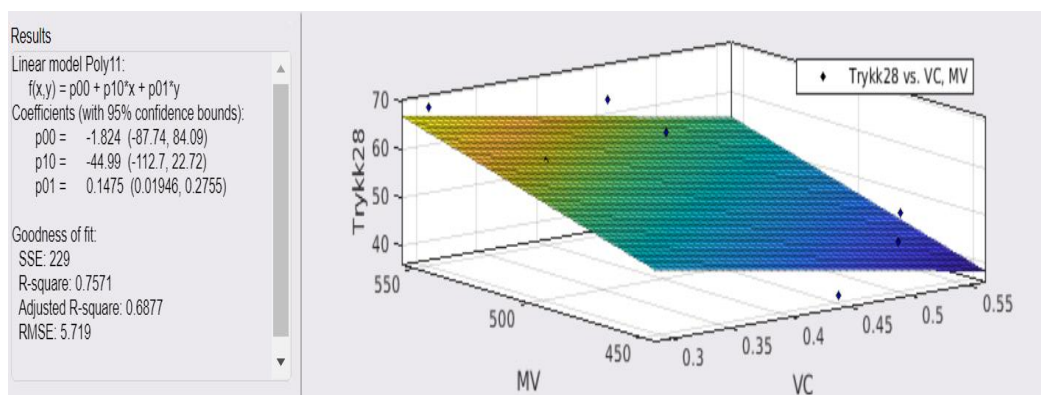
### Trykk 7 dager

I grafen under viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og v/c, x-aksen viser v/c og y-aksen viser matriks volum og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. i VC-1 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 34.02 MPA i trykkfasthet, i VC-2 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 44.82 MPA i trykkfasthet, i VC-3 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.3 % og den gir resultater 67.88 MPA i bøyefasthet, i VC-4 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 57.76 MPA i trykkfasthet, i VC-5 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 50.53 MPA i trykkfasthet, i VC-6 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 42.37 MPA i trykkfasthet, i VC-7 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 47.43 MPA i trykkfasthet, i VC-8 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.55 % og den gir resultater 45.64 MPA i trykkfasthet, i VC-9 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 59.11 MPA i trykkfasthet og i VC-11 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 56.45 MPA i trykkfasthet.



Figur 52 trykkfasthet resultat 7 dager i forhold til Matrix volum – V/C

I grafen under viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og v/c, x-aksen viser v/c og y-aksen viser matriks volum og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. i VC-1 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 37.64 MPA i trykkfasthet, i VC-2 har vi, matriks volum 450 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 46.80 MPA i trykkfasthet, i VC-3 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.3 % og den gir resultater 69.09 MPA i bøyefasthet, i VC-4 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 59.40 MPA i trykkfasthet, i VC-5 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 64.01 MPA i trykkfasthet, i VC-6 har vi, matriks volum 550 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 48.74 MPA i trykkfasthet, i VC-7 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.5 % og den gir resultater 43.47 MPA i trykkfasthet, i VC-8 har vi, matriks volum 475 og v/c i 0.55 % og den gir resultater 46.65 MPA i trykkfasthet, i VC-9 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.35 % og den gir resultater 59.44 MPA i trykkfasthet og i VC-11 har vi, matriks volum 525 og v/c i 0.45 % og den gir resultater 60.76 MPA i trykkfasthet.



Figur 53 trykkfasthet resultat 28 dager i forhold til Matrix volum – V/C

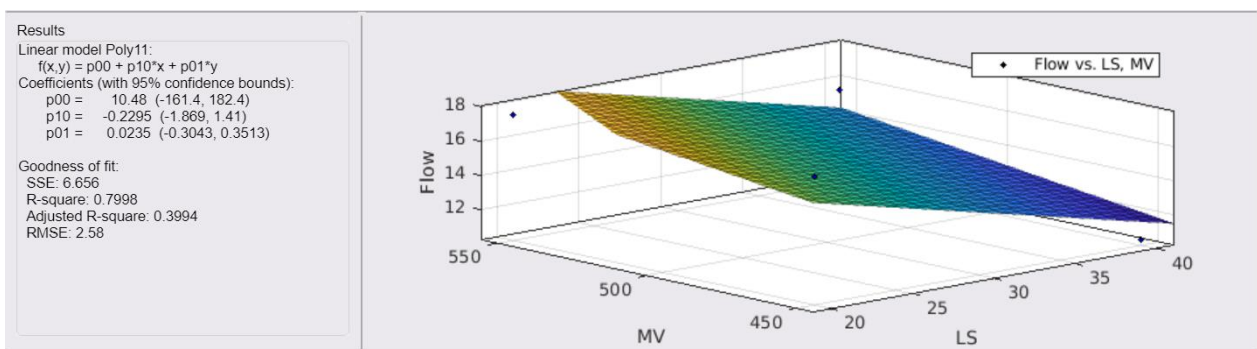
## 5.7 Kalkstein (LS) - Matriks volum (MV)

Tabell 23 tabellen viser mengde tilsetningstoffer for hver miks

| Materialer |          |        |              |          |         |      |              |     |            |           |
|------------|----------|--------|--------------|----------|---------|------|--------------|-----|------------|-----------|
| Cement(g)  | Sand(g)  | SP(g)  | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C  | Matrix volum | SP% | Kalkstein% | flyvaske% |
| 955,325    | 3494,679 | 11,464 | 191,065      | 495,049  |         | 0.50 | 450          | 1   | 20         | 0         |
| 882,194    | 3494,679 | 12,351 | 352,877      | 458,483  |         | 0.50 | 450          | 1   | 40         | 0         |
| 1230,323   | 2835,306 | 7,382  | 246,065      | 629,267  |         | 0.50 | 550          | 0.5 | 20         | 0         |
| 1136,140   | 2835,306 | 7,953  | 454,456      | 582,176  |         | 0.50 | 550          | 0.5 | 40         | 0         |

I denne tabellen over viser den de forskjellig mengde av materialer for blanding av kalkstein (LS) og matriks volum (MV). Tabellen viser antall prosent i kalkstein for 20% og 40% og for matriks volum for 450 [l/m<sup>3</sup>] og 550 [l/m<sup>3</sup>] som starter med miks design SV1 til SV4.

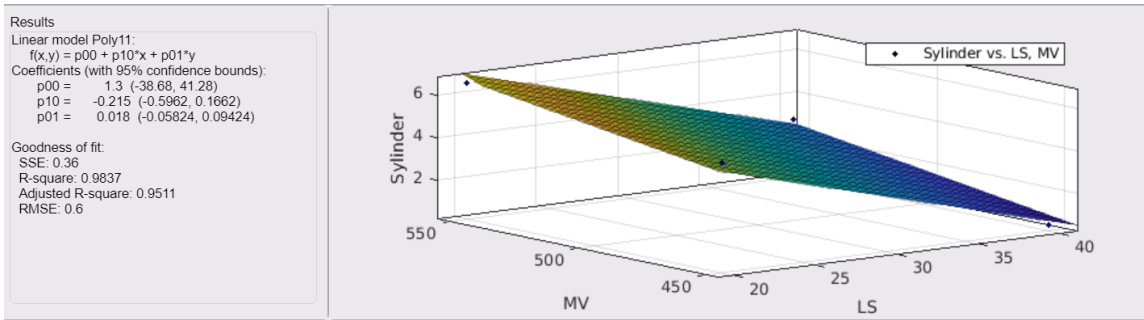
### 5.7.1 Flow table resultat



Figur 54 flow table resultat i forhold til Matrix volum – kalkstein

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum og kalkstein (LS), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser matriks volum (MV) og z-aksen viser diameteren i cm i flow. Vi ser at i SV1 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 20 % og den gir resultater i flow 17.75 cm i diameter, i SV2 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 40 % og den gir resultater i flow 10.58 cm i diameter, i SV3 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 20 % og den gir resultater i flow 17.52 cm i diameter og i SV4 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 40 % og den gir resultater i flow 15,51 cm i diameter.

## 5.7.2 Sylinder resultat

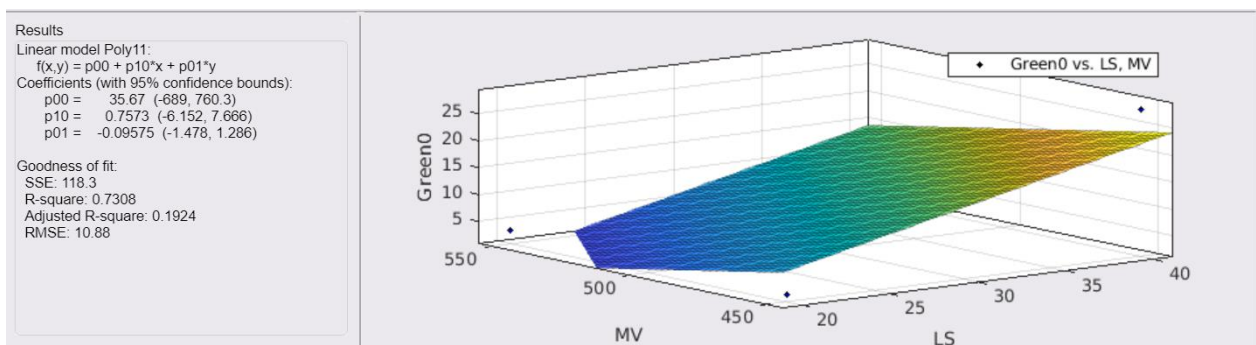


Figur 55 sylinder resultat i forhold til matrix volum - kalksteinn

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum og kalkstein (LS), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser matriks volum (MV) og z-aksen viser høyde forskjellen i cm i sylinder. Vi ser at i SV1 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 20 % og den gir resultater 5.4 cm i sylinder, i SV2 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 40 % og den gir resultater 0.5 cm i sylinder, i SV3 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 20 % og den gir resultater 6.6 cm i sylinder og i SV4 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 40 % og den gir resultater 2.9 cm i sylinder.

## 5.7.3 Green strength resultat (0 og 15) min

### 0 min



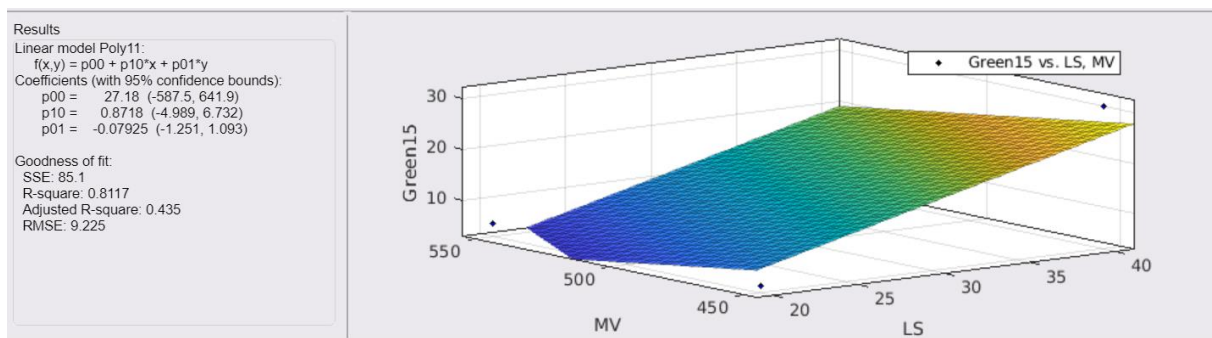
Figur 56 Green strenght resultat etter 0 min i forhold til matrix volum - kalksteinn

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum og kalkstein (LS), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser matriks volum (MV) og z-aksen viser mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i SV1 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 20 % og den gir resultater 2.29 kg i 0 minutter i green strength, i SV2 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 40 % og den gir resultater 28.31 kg i 0 minutter i green strength, i SV3 har vi, matriks volum

550 og kalkstein i 20 % og den gir resultater 3.59 kg i 0 minutter i green strength, og i SV4 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 40 % og den gir resultater 7.86 kg i 0 minutter i green strength.

## 15 min

I grafen under viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum og kalkstein (LS), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser matriks volum (MV) og z-aksen viser mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i SV1 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 20 % og den gir resultater 4.34 kg i 15 minutter i green strength, i SV2 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 40 % og den gir resultater 31 kg i 15 minutter i green strength, i SV3 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 20 % og den gir resultater 5.64 kg i 15 minutter i green strength og i SV4 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 40 % og den gir resultater 13.85 kg i 15 minutter i green strength.



Figur 57 green strenght resultat etter 15 min i forhold til matrix volum – kalksteinn

## 5.7.4 Extrudability test

Det ble gjennomført extrudability test i følge av tidligere studiet (reference). Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapitel (4.4.5 extrudability test). Hensikten med testen er å teste betongens evne til å presses ut kontinuerlig, og det å kjenne flytbarheten av betongen resulterer om det er mulig å ekstrudere eller ikke.

Testen i SV2 viser i (vedlegg A) at den var ikke ok og for harde for å ekstrudere.

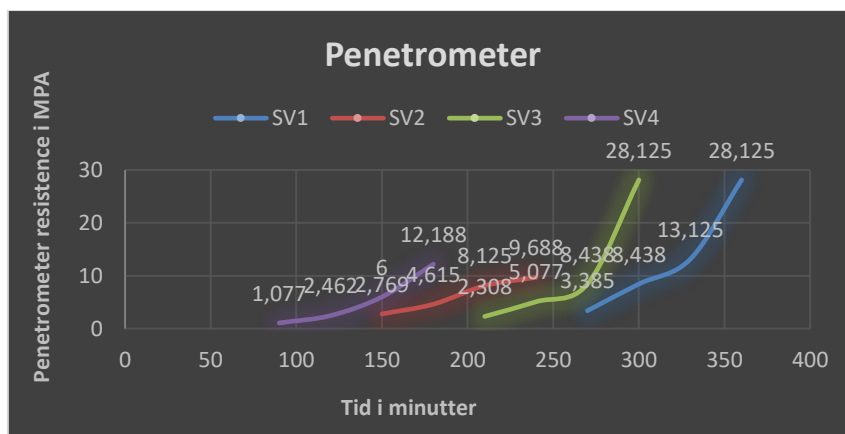
SV1, SV3 og SV4 viser i (vedlegg A) at de var ok og hadde evnen til å ekstrudere, og de ble presset ut kontinuerlig uten overflate feil. SV1 ga resultater 1.279 cm i første måling på 5 cm, 1.429 cm i andre måling på 15 cm og 1.539 cm i tredje måling på 25 cm, SV3 ga resultater 1.340 cm i første måling på 5 cm, 1.528 cm i andre måling på 15 cm og 1.794 cm i tredje måling på 25 cm og SV4 ga resultater 1.256 cm i første måling på 5 cm, 1.546 cm i andre måling på 15 cm og 1.616 cm i tredje måling på 25 cm.

## 5.7.5 Penetrometer resultat

Tabell 24 penetrometer resultat

|                        |     |     |     |     |       |       |        |        |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|--------|--------|
| SV1-M450-W50-LS20-SP-1 | 270 | 300 | 330 | 360 | 3,385 | 8,438 | 13,125 | 28,125 |
| SV2-M450-W50-LS40-SP-1 | 150 | 180 | 210 | 240 | 2,769 | 4,615 | 8,125  | 9,688  |
| SV3-M550-W50-LS20-SP.5 | 210 | 240 | 270 | 300 | 2,308 | 5,077 | 8,438  | 28,125 |
| SV4-M550-W50-LS40-SP.5 | 90  | 120 | 150 | 180 | 1,077 | 2,462 | 6      | 12,188 |

I tabellen over viser den registrert tiden det tok i minutter fra første vannet ble tilsatt i blandingen og kraften i MPA som ble påført vertikalt i gradvis og jevnt. Det ble gjennomført fire tester i fire forskjellige tider for hver blanding.



Figur 58 penetrometer resultat i forhold til matrix volum - kalkstein



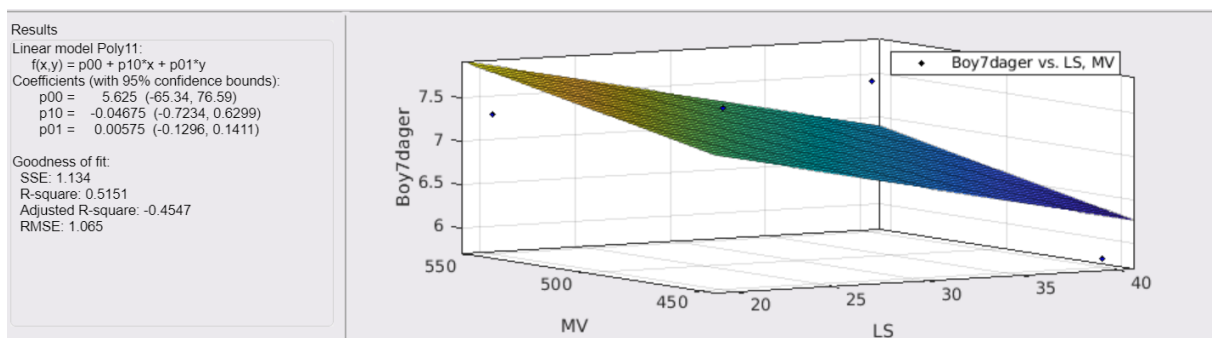
I grafen over viser x-aksen den tiden det tar i minutter for hver kraft som blir påført og y-aksen viser registrert kraften som ble påført i MPA. I SV1 viser tid 1 etter 270 minutter og den registrerte påført kraften er 3.385 MPA, i tid 2 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 8.438 MPA, i tid 3 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 13.125 MPA og i tid 4 etter 360 minutter ble den registrerte påført kraften 28.125 MPA.

I SV2 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 2.769 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 4.615 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 8.125 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 9.688 MPA.

I SV3 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 2.308 MPA, i tid 2 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 5.077 MPA, i tid 3 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 8.438 MPA og i tid 4 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 28.125 MPA.

I SV4 viser tid 1 etter 90 minutter og den registrerte påført kraften er 1.077 MPA, i tid 2 etter 120 minutter ble den registrerte påført kraften 2.462 MPA, i tid 3 etter 150 minutter ble den registrerte påført kraften 6 MPA og i tid 4 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 12.188 MPA.

## 5.7.6 Bøyefasthet resultat



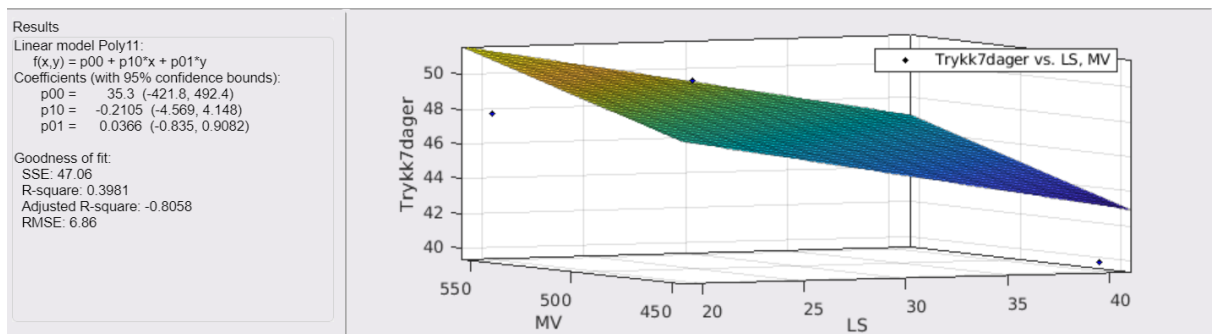
Figur 59 bøyefasthet resultat etter 7 dager i forhold til matrix volum - kalksteinn

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum og kalkstein (LS), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser matriks volum (MV) og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I SV1 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 20 % og den gir resultater 7,81 MPA i

bøyefasthet, i SV2 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 40 % og den gir resultater 5.81 MPA i bøyefasthet, i SV3 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 20 % og den gir resultater 7,32 MPA i bøyefasthet og i SV4 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 40 % og den gir resultater 7,45 MPA i bøyefasthet.

## 5.7.7 Trykkfasthet resultat (7 og 28 dager)

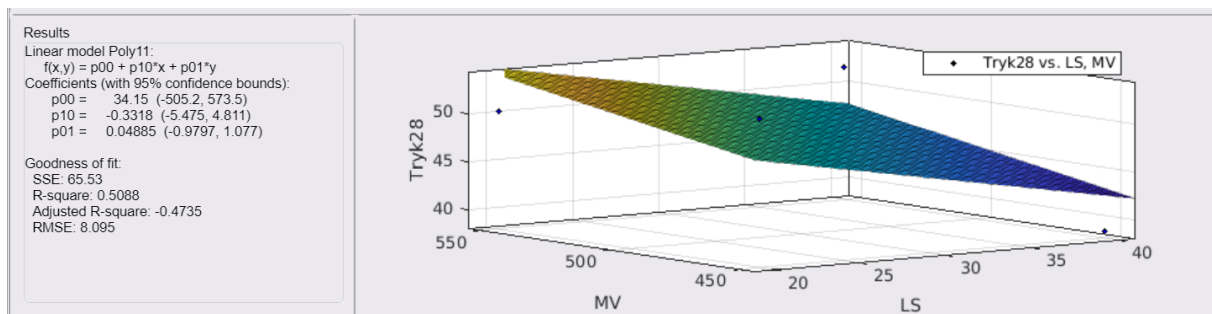
### Trykk 7 dager



Figur 60 trykkfasthet resultat etter 7 dager i forhold til matrix volum - kalkstein

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum og kalkstein (LS), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser matriks volum (MV) og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I SV1 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 20 % og den gir resultater 50.99 MPA i trykkfasthet, i SV2 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 40 % og den gir resultater 39.92 MPA i trykkfasthet, i SV3 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 20 % og den gir resultater 47.79 MPA i trykkfasthet og i SV4 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 40 % og den gir resultater 50.44 MPA i trykkfasthet.

### Trykk 28 dager



Figur 61 trykkfasthet resultat etter 28 dager i forhold til matrix volum - kalkstein

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum og kalkstein (LS), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser matriks volum (MV) og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I SV1 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 20 % og den gir resultater 53.54 MPA i trykkfasthet, i SV2 har vi, matriks volum 450 og kalkstein i 40 % og den gir resultater 38.81 MPA i trykkfasthet, i SV3 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 20 % og den gir resultater 50.33 MPA i trykkfasthet og i SV4 har vi, matriks volum 550 og kalkstein i 40 % og den gir resultater 51.79 MPA i trykkfasthet.

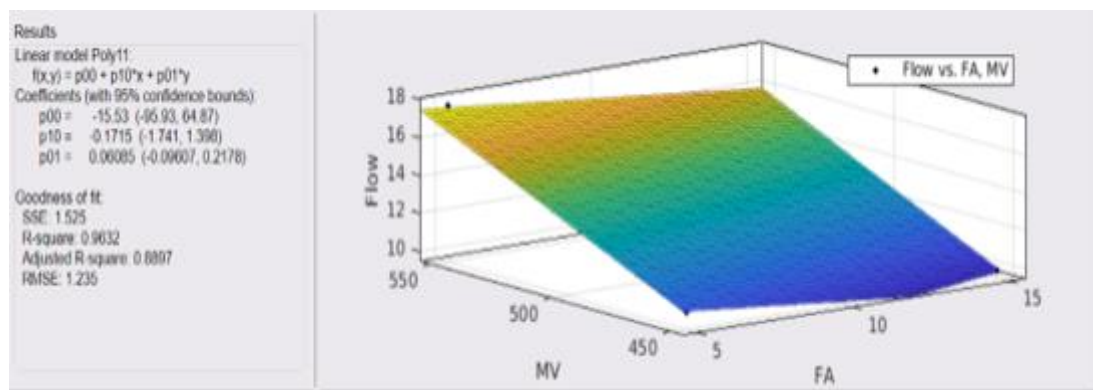
## 5.8 Flyveaske (FA) – Matriks volum (MV)

Tabell 25 mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen

| mix desgin          | Matrialer |          |        |              |          |         |     |              |     |            |           |
|---------------------|-----------|----------|--------|--------------|----------|---------|-----|--------------|-----|------------|-----------|
|                     | Cement(g) | Sand(g)  | SP(g)  | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C | Matrix volum | SP% | Kalkstein% | flyvaske% |
| AV1- W451-M450-FA5  | 1147,664  | 3494,679 | 12,081 |              | 466,486  | 60,403  | 0.4 | 450          | 1   | 0          | 5         |
| AV2- W451-M450-FA15 | 1069,968  | 3494,679 | 12,088 |              | 434,999  | 188,818 | 0.4 | 450          | 1   | 0          | 15        |
| AV3- W451-M550-FA5  | 1478,028  | 2835,306 | 15,558 |              | 592,482  | 77,791  | 0.4 | 550          | 1   | 0          | 5         |
| AV4- W451-M550-FA15 | 1377,966  | 2835,306 | 16,211 |              | 551,918  | 243,170 | 0.4 | 550          | 1   | 0          | 15        |

I denne tabellen over viser den de forskjellig mengde av materialer for blanding av flyveaske (FA) og matriks volum (MV). Tabellen viser antall prosent i flyveaske for 5 % og 15 % og for matriks volum 450 og 550 fra AV1 til AV4.

### 5.8.1 Flow table resultat

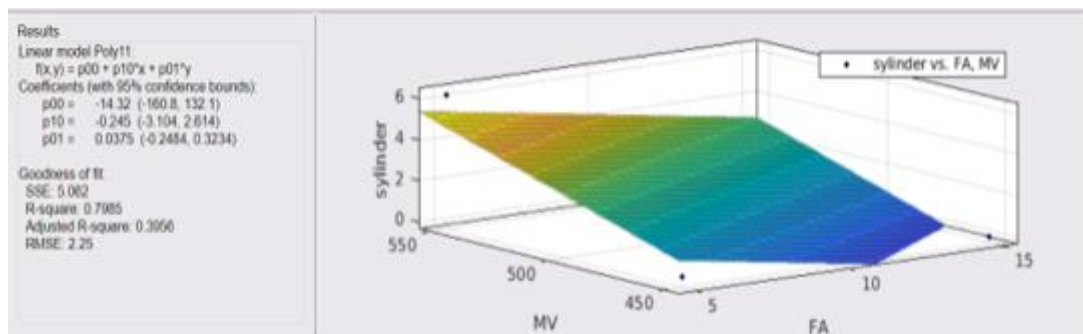


Figur 62 flow table resultat i forhold til matrix volum - flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og Flyveaske (FA), x-aksen viser flyveaske og y-aksen viser matriks volumet (MV) og z-aksen viser diameteren i cm i flow. Vi ser at i AV-1 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 5 % og den

gir resultater 10.38 cm i diameter i flow, i AV-2 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 15 % og den gir resultater 9.9 cm i diameter i flow, i AV-3 har vi, matriks volum 550 og flyveaske i 5% og den gir resultater 17.7 cm i diameter i flow og i AV-4 har vi, matriks volum 550 og flyveaske i 15 % og den gir resultater 14.75 cm i diameter i flow.

## 5.8.2 Sylinder resultat

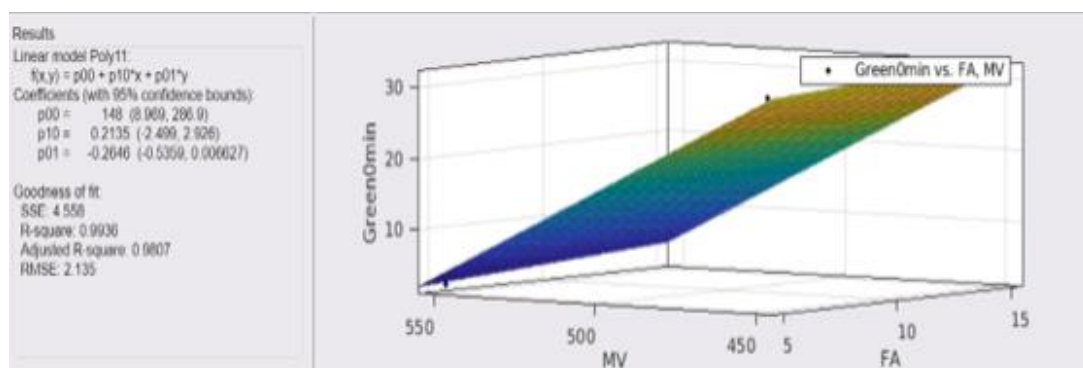


Figur 63 sylinder resultat i forhold til matrix volum - flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og flyveaske (FA), x-aksen viser flyveaske (FA) og y-aksen viser matriks volum (MV) og z-aksen viser høyde forskjellen i cm i sylinder. Vi ser at i AV1 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 5 % og den gir resultater 0.2 cm i sylinder, i AV2 har vi, matriks volum 450 og i flyveaske 15 % og den gir resultater 0 cm i sylinder, i AV3 har vi, matriks volum 550 og flyveaske i 5% og den gir resultater 6.2 cm i sylinder og i AV4 har vi, matriks volum 550 og flyveaske i 15 % og den gir resultater 1.5 cm i sylinder.

## 5.8.3 Green strength resultat (0 og 15 min)

0 min

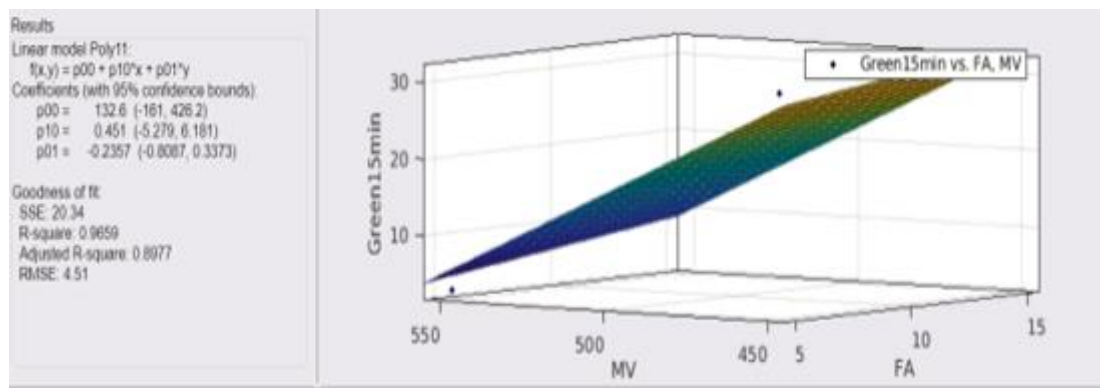


Figur 64 green strenght resultat etter 0 min i forhold til matrix volum - flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og flyveaske (FA), x-aksen viser flyveaske (FA) og y-aksen viser matriks volum (MV) og z-aksen viser

mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i AV1 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 5 % og den gir resultater 31 kg i green strength i 0 minutter, i AV2 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 15 % og den gir resultater 31 kg i green strength i 0 minutter, i AV3 har vi, matriks volum 550 og flyveaske 5 % og den gir resultater 2.4 kg i green strength i 0 minutter og i AV4 har vi, matriks volum 550 og flyveaske 15 % og den gir resultater 6.67 kg i green strength i 0 minutter.

## 15 min



Figur 65 green strenght resultat etter 15 min i forhold til matrix volum - flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og flyveaske (FA), x-aksen viser flyveaske (FA) og y-aksen viser matriks volum (MV) og z-aksen viser mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i AV1 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 5 % og den gir resultater 31 kg i 15 minutter i green strength, i AV2 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 15 % og den gir resultater 31 kg i 15 minutter i green strength, i AV3 har vi, matriks volum 550 og flyveaske 5 % og den gir resultater 2.92 kg i 15 minutter i green strength og i AV4 har vi, matriks volum 550 og flyveaske 15 % og den gir resultater 11.94 kg i 15 minutter i green strength.

### 5.8.4 Extrudability resultat

Det ble gjennomført extrudability test i følge av tidligere studiet (reference). Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapittel (4.4.5 extrudability tester). Hensikten med testen er å teste betongens evne til å presses ut kontinuerlig, og det å kjenne flytbarheten av betongen resulterer om det er mulig å ekstrudere eller ikke.

Testen i AV1, AV2 viser i (vedlegg A) at de var ikke ok og at de var for harde for å ekstrudere.

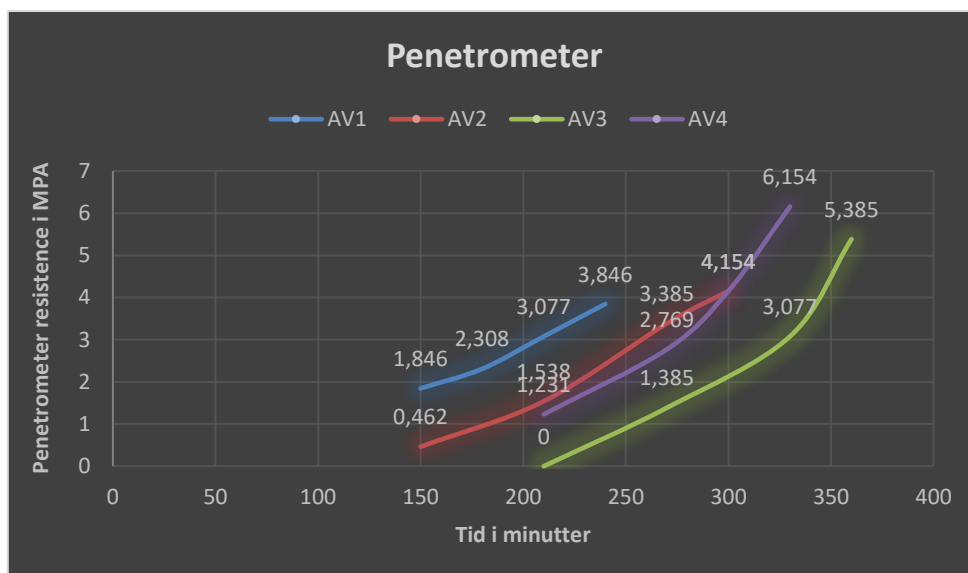
AV3 og AV4 viser i (vedlegg A) at de var ok og hadde evnen til å ekstrudere, og de ble presset ut kontinuerlig uten overflate feil. I AV3 ga resultater 1.666 cm i første måling på 5 cm, 1.625 cm i andre måling på 15 cm og 1.708 cm i tredje måling på 25 cm, og i AV4 ga resultater 1.301 cm i første måling på 5 cm, 1.74 cm i andre måling på 15 cm og 1.645 cm i tredje måling på 25 cm.

## 5.8.5 Penetrometer resultat

Tabell 26 penetrometer resultat

|                     |     |     |     |     |       |       |       |       |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| AV1- W4S1-M450-FA5  | 150 | 180 | 210 | 240 | 1,846 | 2,308 | 3,077 | 3,846 |
| AV2- W4S1-M450-FA15 | 150 | 210 | 270 | 300 | 0,462 | 1,538 | 3,385 | 4,154 |
| AV3- W4S1-M550-FA5  | 210 | 270 | 330 | 360 | 0     | 1,385 | 3,077 | 5,385 |
| AV4- W4S1-M550-FA15 | 210 | 270 | 300 | 330 | 1,231 | 2,769 | 4,154 | 6,154 |

I tabellen over viser den registrert tiden det tok i minutter fra første vannet ble tilsatt i blandingen og kraften i MPA som ble påført vertikalt gradvis og jevnt. Det ble gjennomført fire tester i fire forskjellige tider for hver blanding.



Figur 66 Penetrometer resultat i forhold til matriks volum - flyveaske

I grafen over viser x-aksen den tiden det tar i minutter for hver kraft som blir påført og y-aksen viser registrert kraften som ble påført i MPA. I AV1 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 1.846 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført

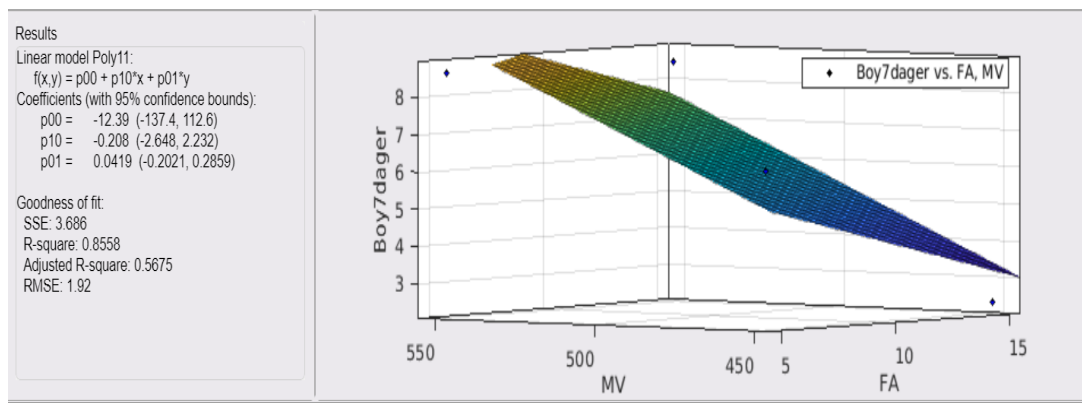
kraften 2.308 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 3.077 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 3.486 MPA.

I AV2 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 0.462 MPA, i tid 2 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 1.538 MPA, i tid 3 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 3.385 MPA og i tid 4 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 4.154 MPA.

I AV3 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 0 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 1.385 MPA, i tid 3 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 3.077 MPA og i tid 4 etter 360 minutter ble den registrerte påført kraften 5.385 MPA.

I AV4 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 1.231 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 2.769 MPA, i tid 3 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 4.154 MPA og i tid 4 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 6.154 MPA.

### 5.8.6 Bøyefasthet resultat (7 dager)



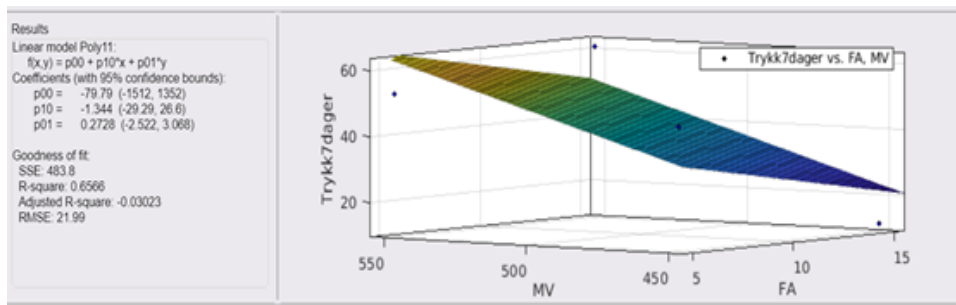
Figur 67 Bøyefasthet resultat etter 7 dager i forhold til matriks volum - flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum og flyveaske (LS), x-aksen viser flyveaske og y-aksen viser matriks volum (MV) og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I AV1 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 5 % og den gir resultater 6.38 MPA i bøyefasthet, i AV2 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 15 % og den gir resultater 2.38 MPA i bøyefasthet, i AV3 har vi, matriks volum 550 og flyveaske i 5 % og den gir resultater

8.65 MPA i bøyefasthet og i AV4 har vi, matriks volum 550 og flyveaske i 15 % og den gir resultater 8.49 MPA i bøyefasthet.

## 5.8.7 Trykkfasthet resultat (7 og 28 dager)

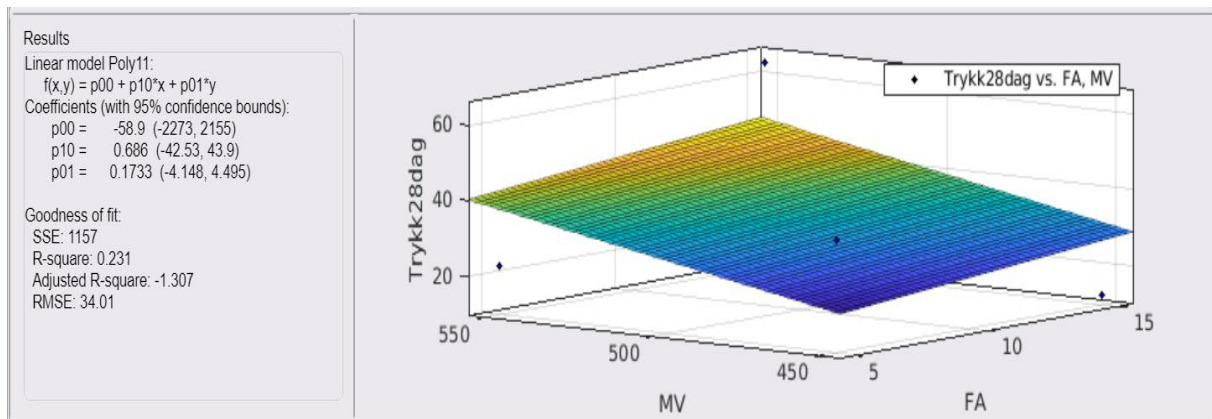
### Trykk 7 dager



Figur 68 trykkfasthet resultat etter 7 dager i forhold til matriks volum og flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og flyveaske (FA), x-aksen viser flyveaske og y-aksen viser matriks volumet og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I AV1 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 5 % og den gir resultater 47.27 MPA i trykkfasthet, i AV2 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 15 % og den gir resultater 11.84 MPA i trykkfasthet, i AV3 har vi, matriks volum 550 og flyveaske i 5 % og den gir resultater 52.56 MPA i trykkfasthet og i AV4 har vi, matriks volum 550 og flyveaske i 15 % og den gir resultater 61.12 MPA i trykkfasthet.

### Trykk 28 dager



Figur 69 trykkfastet resultat etter 28 dager i forhold til marix volum og flyveaske



I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom matriks volum (MV) og flyveaske (FA), x-aksen viser flyveaske og y-aksen viser matriks volum og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I AV1 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 5 % og den gir resultater 39.52 MPA i trykkfasthet, i AV2 har vi, matriks volum 450 og flyveaske i 15 % og den gir resultater 12.37 MPA i trykkfasthet, i AV3 har vi, matriks volum 550 og flyveaske i 5 % og den gir resultater 22.84 MPA i trykkfasthet og i AV4 har vi, matriks volum 550 og flyveaske i 15 % og den gir resultater 63.71 MPA i trykkfasthet.

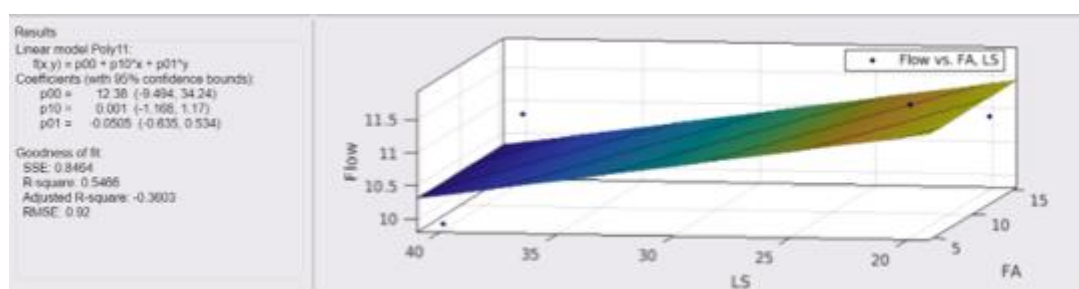
## 5.9 Flyveaske (FV) – Kalkstein (LS)

Tabell 27 mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen

| Dato       | Tidspunkt | mix desgin                   |       | Matrialer |          |       |              |          |         |      |              |     |            |           |
|------------|-----------|------------------------------|-------|-----------|----------|-------|--------------|----------|---------|------|--------------|-----|------------|-----------|
|            |           |                              |       | Cement(g) | Sand(g)  | SP(g) | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C  | Matrix volum | SP% | Kalkstein% | flyvaske% |
| 27.04.2021 | 12:05:00  | AS1- M500-W50- S1 -FA5-LS20  | FA-LS | 1061,023  | 3164,992 |       | 223,373      | 546,258  | 55,843  | 0.50 | 500          | 1   | 20         | 5         |
| 27.04.2021 | 13:06:00  | AS2- M500-W50- S1 -FA5-LS40  |       | 978,155   | 3164,992 |       | 411,854      | 504,823  | 51,482  | 0.50 | 500          | 1   | 40         | 5         |
| 27.04.2021 | 13:47:00  | AS3- M500-W50- S1 -FA15-LS20 |       | 993,030   | 3164,992 |       | 233,654      | 512,261  | 175,241 | 0.50 | 500          | 1   | 20         | 15        |
| 27.04.2021 | 14:31:00  | AS4- M500-W50- S1 -FA15-LS40 |       | 912,191   | 3164,992 |       | 429,266      | 471,842  | 160,975 | 0.50 | 500          | 1   | 40         | 15        |

I denne tabellen over viser den de forskjellig mengde av materialer for blanding av flyveaske (FA) og Kalkstein (LS). Tabellen viser antall prosent i kalkstein for 20 % og 40 % og flyveaske for 5 % og 15 % fra AS1 til AS4.

### 5.9.1 Flow table resultat

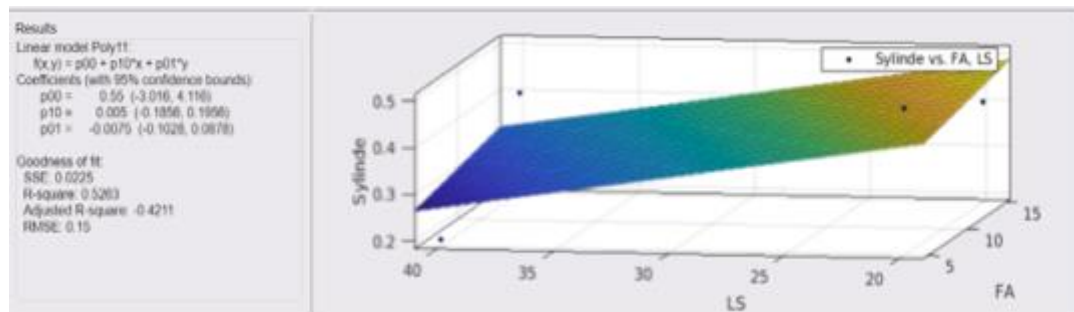


Figur 70 Flow table resultat i forhold til kalkstein - flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og flyveaske (FA), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser flyveaske og z-aksen viser diameteren i cm i flow. Vi ser at i AS-1 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 11.83 cm i diameter i flow, i AS-2 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 9.9 cm i diameter i flow, i AS-3 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 15% og den gir resultater

10.92 cm i diameter i flow og i AS-4 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 15 % og den gir resultater 10.83 cm i diameter i flow.

## 5.9.2 Sylinder resultat

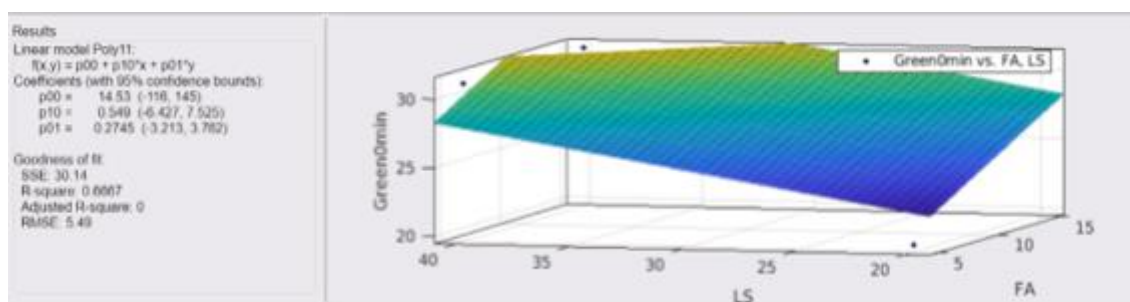


Figur 71 Sylinder resultat i forhold til kalkstein - flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og flyveaske (FA), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser flyveaske og z-aksen viser høyde forskjellen i cm i sylinder. Vi ser at i AS-1 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 0.5 cm i sylinder, i AS-2 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 0.2 cm i sylinder, i AS-3 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 15% og den gir resultater 0.4 cm i sylinder og i AS-4 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 15 % og den gir resultater 0.4 cm i sylinder.

## 5.9.3 Green strength resultat (0 og 15min)

0 min

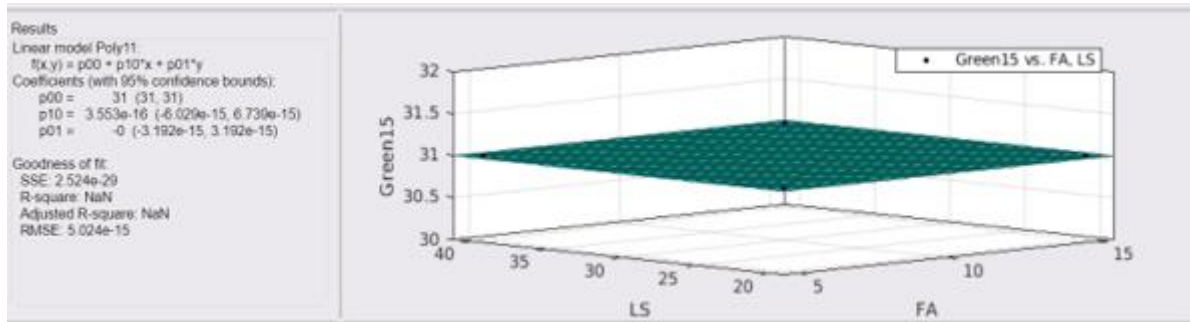


Figur 72 Green strength resultat etter 0 min i forhold til kalkstein - flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og flyveaske (FA), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser flyveaske og z-aksen viser mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i AS-1 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 20.02 kg i 0 minutter i green strength, i AS-2 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 31 kg i 0 minutter i green strength, i AS-3 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 15

% og den gir resultater 31 kg i 0 minutter i green strength og i AS-4 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 15 % og den gir resultater 31 kg i 0 minutter i green strength.

## 15 min



Figur 73 Green strength resultat etter 15 min i forhold til kalkstein - flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og flyveaske (FA), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser flyveaske og z-aksen viser mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i AS-1 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 31 kg i 15 minutter i green strength, i AS-2 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 31 kg i 15 minutter i green strength, i AS-3 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 15 % og den gir resultater 31 kg i 15 minutter i green strength og i AS-4 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 15 % og den gir resultater 31 kg i 15 minutter i green strength.

### 5.9.4 Extrudability resultat

Det ble gjennomført extrudability test i følge av tidligere studiet. Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapittel (4.4.5 extrudability tester). Hensikten med testen er å teste betongens evne til å presses ut kontinuerlig, og det å kjenne flytbarheten av betongen resulterer om det er mulig å ekstrudere eller ikke.

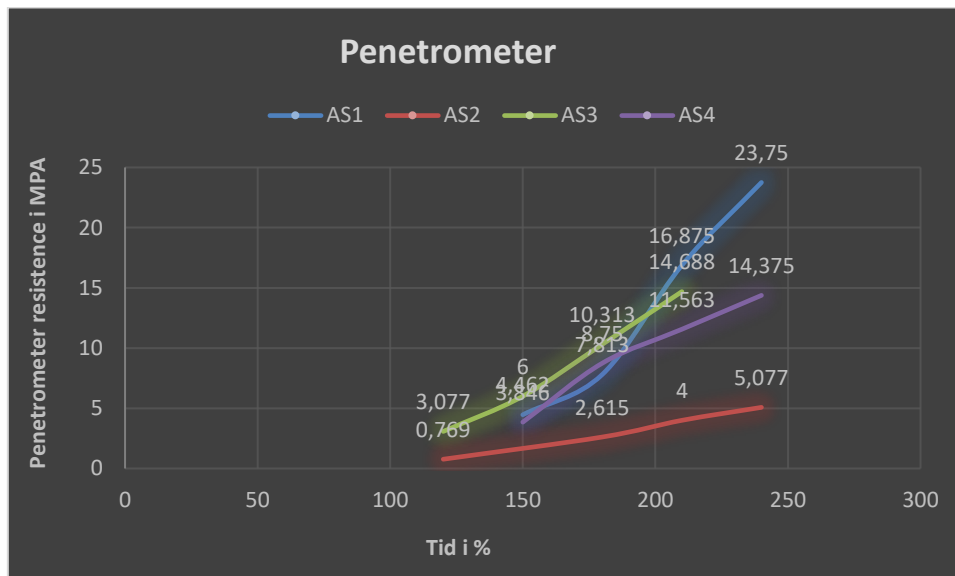
Testen i AS1, AS2, AS3 og AS4 viser i (vedlegg A) at de var ikke ok og at de var for harde for å ekstrudere.

## 5.9.5 Penetrometer resultat

Tabell 28 penetrometer resultat

|                              |     |     |     |     |       |       |        |        |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|--------|--------|
| AS1- M500-W50- S1 -FA5-LS20  | 150 | 180 | 210 | 240 | 4,462 | 7,813 | 16,875 | 23,75  |
| AS2- M500-W50- S1 -FA5-LS40  | 120 | 180 | 210 | 240 | 0,769 | 2,615 | 4      | 5,077  |
| AS3- M500-W50- S1 -FA15-LS20 | 120 | 150 | 180 | 210 | 3,077 | 6     | 10,313 | 14,688 |
| AS4- M500-W50- S1 -FA15-LS40 | 150 | 180 | 210 | 240 | 3,846 | 8,75  | 11,563 | 14,375 |

I tabellen over viser den registrerte tiden det tok i minutter fra første vannet ble tilsatt i blandingen og kraften i MPA som ble påført vertikalt gradvis og jevnt. Det ble gjennomført fire tester i fire forskjellige tider for hver blanding.



Figur 74 Penetrometer resultat i forhold til kalkstein - flyveaske

I tabellen over viser den registrerte tiden det tok i minutter fra første vannet ble tilsatt i blandingen og kraften i MPA som ble påført vertikalt i gradvis og jevnt. Det ble gjennomført fire tester i fire forskjellige tider for hver blanding.

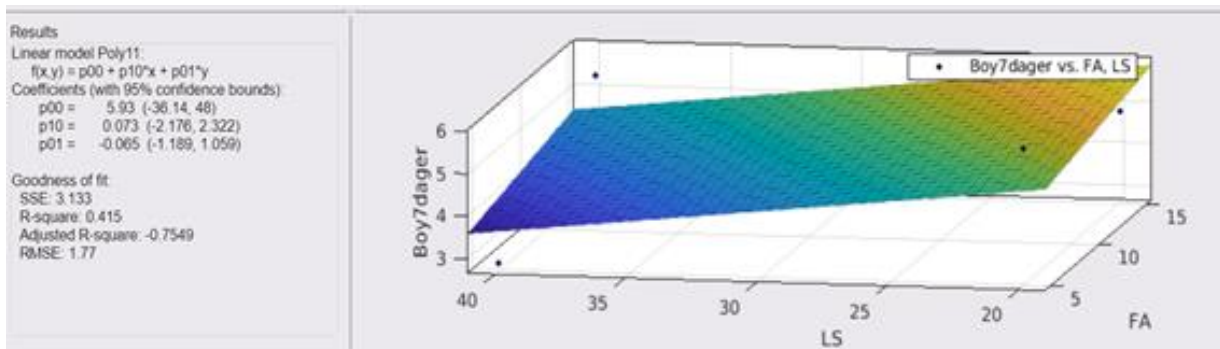
I grafen over viser x-aksen den tiden det tar i minutter for hver kraft som blir påført og y-aksen viser registrert kraften som ble påført i MPA. I AS-1 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften blir 4.462 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 7.813 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 16.875 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 23.75 MPA.

I AS-2 viser tid 1 etter 120 minutter og den registrerte påført kraften er 0.769 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 2.615 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 4 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 5.077 MPA.

I AS-3 viser tid 1 etter 120 minutter og den registrerte påført kraften blir 3.077 MPA, i tid 2 etter 150 minutter ble den registrerte påført kraften 6 MPA, i tid 3 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 10.313 MPA og i tid 4 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 14.688 MPA.

I AS-4 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften blir 3.846 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 8.75 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 11.563 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 14.375 MPA.

## 5.9.6 Bøyefasthet resultat (7 dager)

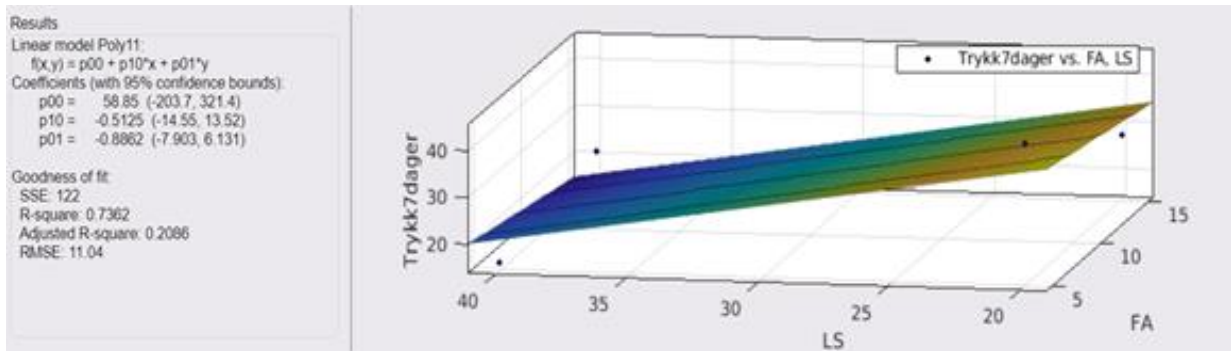


Figur 75 Bøyefasthet resultat i forhold til kalkstein - flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og flyveaske (FV), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser flyveaske og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I AS-1 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 5.88 MPA i bøyefasthet, i AS-2 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 15 % og den gir resultater 2.81 MPA i bøyefasthet, i AS-3 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 4.84 MPA i bøyefasthet og i AS-4 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 15 % og den gir resultater 5.31 MPA i bøyefasthet.

## 5.9.7 Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager

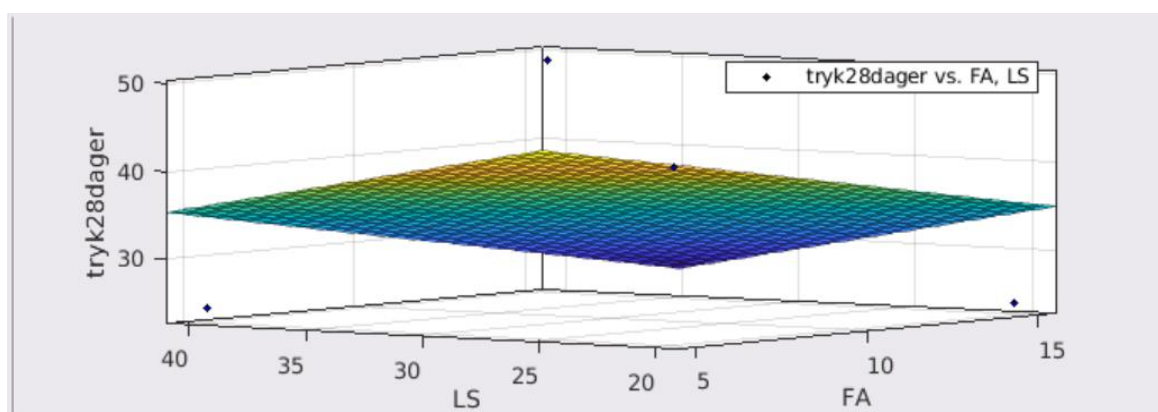
### Trykk 7 dager



Figur 76 trykk resultat etter 7 dager i forhold til kalkstein - flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og flyveaske (FV), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser flyveaske og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I AS-1 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 44.09 MPA i trykkfasthet, i AS-2 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 15 % og den gir resultater 15.32 MPA i trykkfasthet, i AS-3 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 27.92 MPA i trykkfasthet og i AS-4 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 15 % og den gir resultater 21.24 MPA i trykkfasthet.

### Trykk 28 dager



Figur 77 trykk resultat etter 28 dager i forhold til kalkstein - flyveaske

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og flyveaske (FV), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser flyveaske og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I AS-1 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 43.12 MPA i

trykkfasthet, i AS-2 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 15 % og den gir resultater 24.37 MPA i trykkfasthet, i AS-3 har vi, kalkstein i 20 % og flyveaske i 5 % og den gir resultater 24.06 MPA i trykkfasthet og i AS-4 har vi, kalkstein i 40 % og flyveaske i 15 % og den gir resultater 49.17 MPA i trykkfasthet.

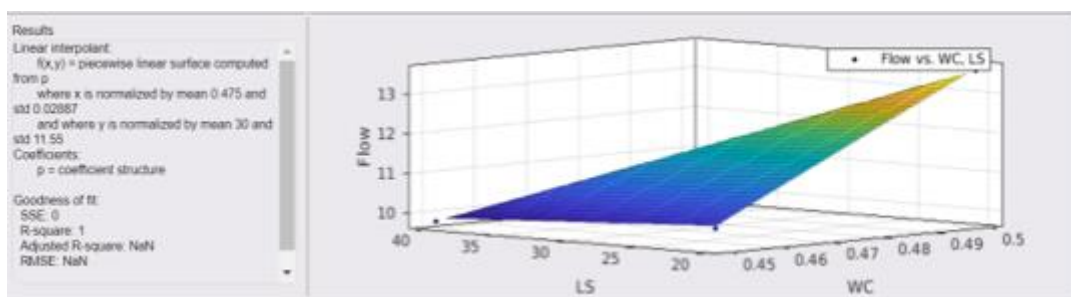
## 5.10 Kalkstein (LS) – V/C (WC)

Tabell 29 mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen

| Dato       | Tidspunkt | mix desgin             | Matrialer |          |       |              |          |         |     |              |     |            |    |
|------------|-----------|------------------------|-----------|----------|-------|--------------|----------|---------|-----|--------------|-----|------------|----|
|            |           |                        | Cement(g) | Sand(g)  | SP(g) | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C | Matrix volum | SP% | Kalkstein% |    |
| 29.04.2021 | 09:27:00  | SC1-M500-S01 -W45-LS20 |           |          |       |              |          |         |     |              |     |            |    |
| 29.04.2021 | 10:07:00  | SC2-M500-S01 -W45-LS40 | 1157,598  | 3164,992 |       | 231,520      | 536,666  |         |     | 0.45         | 500 | 1          | 20 |
| 29.04.2021 | 10:32:00  | SC3-M500-S01 -W50-LS20 | 1064,154  | 3164,992 |       | 425,662      | 494,616  |         |     | 0.45         | 500 | 1          | 40 |
| 29.04.2021 | 10:32:00  | SC3-M500-S01 -W50-LS20 | 1092,824  | 3164,992 |       | 218,565      | 562,158  |         |     | 0.50         | 500 | 1          | 20 |
| 29.04.2021 | 11:06:00  | SC4-M500-S01 -W50-LS40 | 1009,167  | 3164,992 |       | 403,667      | 520,330  |         |     | 0.50         | 500 | 1          | 40 |

I denne tabellen over viser den de forskjellig mengde av materialer for blanding av kalkstein (LS) og (V/C). Tabellen viser antall prosent i kalkstein for 20 % og 40 % og v/c for 0.45 og 0.5 fra SC-1 til SC-4.

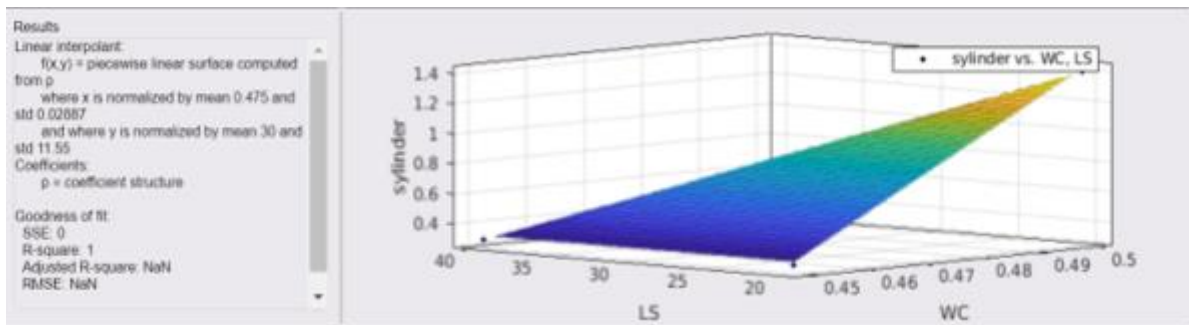
### 5.10.1 Flow table resultat



Figur 78 flow table resultat i forhold til kalkstein - WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og v/c (WC), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser v/c og z-aksen viser diameteren i cm i flow. Vi ser at i SC-1 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 10.2 cm i diameter i flow, i SC-2 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 9.8 cm i diameter i flow, i SC-3 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 13.56 cm i diameter i flow og i SC-4 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 10.56 cm i diameter i flow.

## 5.10.2 Sylinder resultat

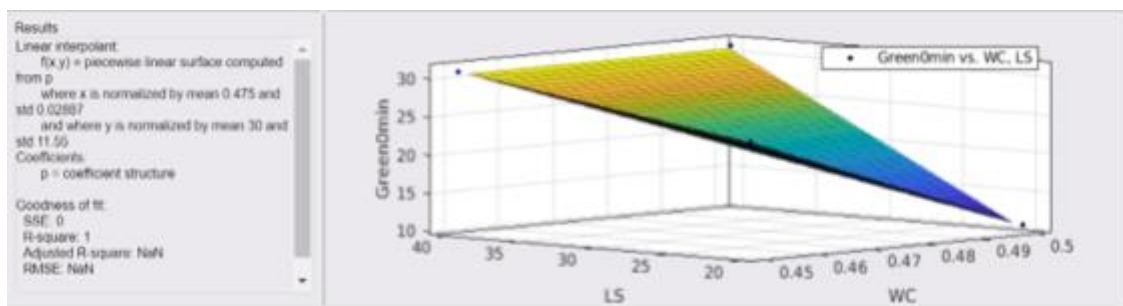


Figur 79 sylinder resultat forhold til kalkstein - WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og v/c (WC), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser v/c og z-aksen viser høydeforskjellen i cm. Vi ser at i SC-1 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 0.3 cm i sylinder, i SC-2 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 0.3 cm i sylinder, i SC-3 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 1.4 cm i sylinder og i SC-4 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 0.3 cm i sylinder.

## 5.10.3 Green strength resultat (0 og 15min)

0 min



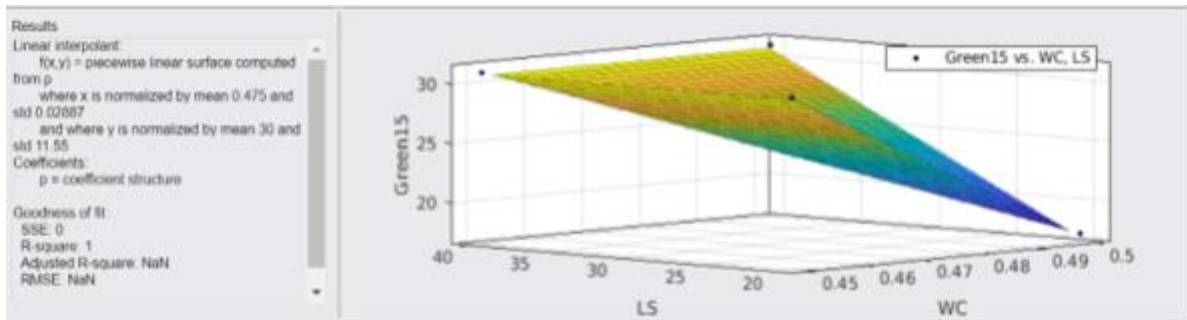
Figur 80 green strenght resultat etter 0 min forhold til kalkstein - WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og v/c (WC), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser v/c og z-aksen viser mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i SC-1 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 24.93 kg i 0 minutter i green strength, i SC-2 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 31 kg i 0 minutter i green strength, i SC-3 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.5 og den gir resultater



10.68 kg i 0 minutter i green strength og i SC-4 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 31 kg i 0 minutter i green strength.

## 15 min



Figur 81 green strenght resultat etter 15min i forhold til kalkstein - WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og v/c (WC), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser v/c og z-aksen viser mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i SC-1 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 31 kg i 15 minutter i green strength, i SC-2 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 31 kg i 15 minutter i green strength, i SC-3 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 17.26 kg i 15 minutter i green strength og i SC-4 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 31 kg i 15 minutter i green strength.

### 5.10.4 Extrudability resultat

Det ble gjennomført extrudability test i følge av tidligere studiet. Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapittel (4.4.5 extrudability tester). Hensikten med testen er å teste betongens evne til å presses ut kontinuerlig, og det å kjenne flytbarheten av betongen resulterer om det er mulig å ekstrudere eller ikke.

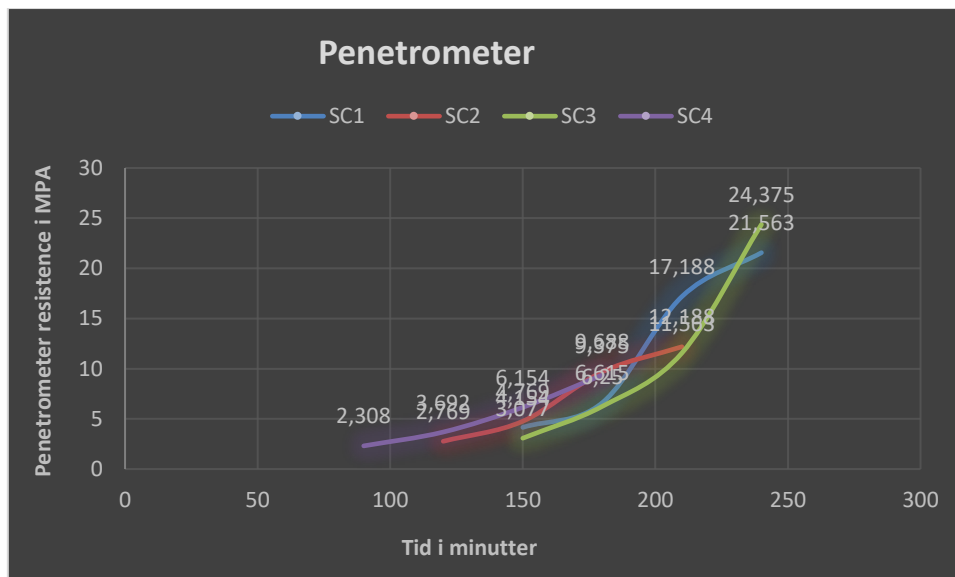
Testen i SC-1, SC-2, SC-3 og SC-4 viser i (vedlegg A) at de var ikke ok og at de var for harde for å ekstrudere.

## 5.10.5 Penetrometer resultat

Tabell 30 penetrometer resultat

|                        |     |     |     |     |       |       |        |        |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|--------|--------|
| SC1-M500-S01 -W45-LS20 | 150 | 180 | 210 | 240 | 4,154 | 6,615 | 17,188 | 21,563 |
| SC2-M500-S01 -W45-LS40 | 120 | 150 | 180 | 210 | 2,769 | 4,769 | 9,688  | 12,188 |
| SC3-M500-S01 -W50-LS20 | 150 | 180 | 210 | 240 | 3,077 | 6,25  | 11,563 | 24,375 |
| SC4-M500-S01-W50-LS40  | 90  | 120 | 150 | 180 | 2,308 | 3,692 | 6,154  | 9,375  |

I tabellen over viser den registrert tiden det tok i minutter fra første vannet ble tilsatt i blandingen og kraften i MPA som ble påført vertikalt gradvis og jevnt. Det ble gjennomført fire tester i fire forskjellige tider for hver blanding.



Figur 82 penetrometer resultat forhold til kalkstein - WC

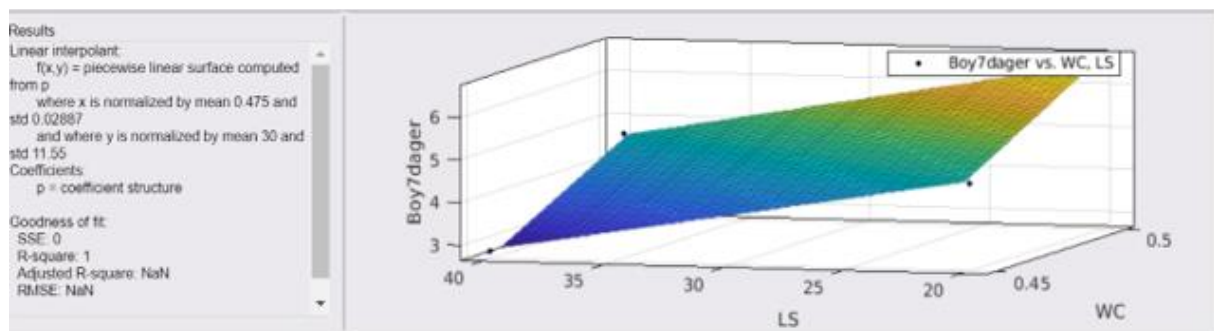
I grafen over viser x-aksen den tiden det tar i minutter for hver kraft som blir påført og y-aksen viser registrert kraften som ble påført i MPA. I SC-1 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 4.154 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 6.615 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 17.188 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 21.563 MPA.

I SC-2 viser tid 1 etter 120 minutter og den registrerte påført kraften er 2.769 MPA, i tid 2 etter 150 minutter ble den registrerte påført kraften 4.769 MPA, i tid 3 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 9.688 MPA og i tid 4 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 12.188 MPA.

I SC-3 viser tid 1 etter 150 minutter og den registrerte påført kraften er 3.077 MPA, i tid 2 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 6.25 MPA, i tid 3 etter 210 minutter ble den registrerte påført kraften 11.563 MPA og i tid 4 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 9.375 MPA.

I SC-4 viser tid 1 etter 90 minutter og den registrerte påført kraften er 2.308 MPA, i tid 2 etter 120 minutter ble den registrerte påført kraften 3.692 MPA, i tid 3 etter 150 minutter ble den registrerte påført kraften 6.154 MPA og i tid 4 etter 180 minutter ble den registrerte påført kraften 9.375 MPA

### 5.10.6 Bøyefasthet resultat 7 dager

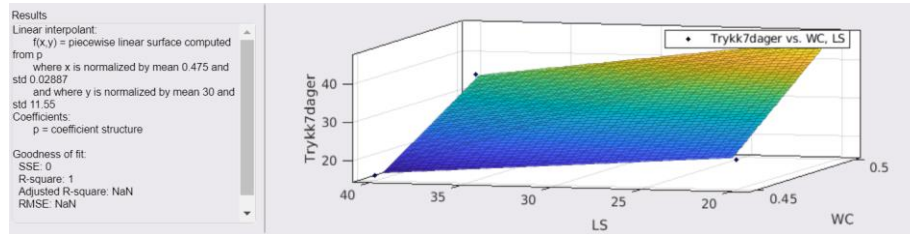


Figur 83 bøyefasthet resultat etter 7 dager forhold til kalkstein - WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og v/c (WC), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser v/c og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I SC-1 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 4.70 MPA i bøyefasthet, i SC-2 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 2.83 MPA i bøyefasthet, i SC-3 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 6.57 MPA i bøyefasthet og i SC-4 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 4.60 MPA i bøyefasthet.

## 5.10.7 Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager

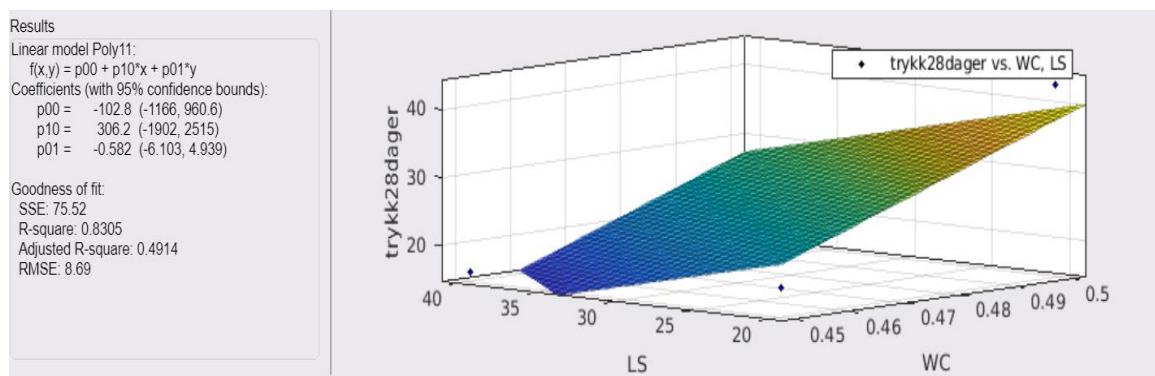
### Trykk 7 dager



Figur 84 trykk resultat etter 7dager forhold til kalkstein - WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og v/c (WC), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser v/c og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I SC-1 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 22.25 MPA i trykkfasthet, i SC-2 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 15.97 MPA i trykkfasthet, i SC-3 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 46.24 MPA i trykkfasthet og i SC-4 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 34.43 MPA i trykkfasthet.

### Trykk 28 dager



Figur 85 trykk resultat etter 28 dager forhold til kalkstein - WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom kalkstein (LS) og v/c (WC), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser v/c og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I SC-1 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 19.02 MPA i trykkfasthet, i SC-2 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 16.07 MPA i trykkfasthet, i SC-3 har vi, kalkstein i 20 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 43.03 MPA i trykkfasthet og i SC-4 har vi, kalkstein i 40 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 22.69 MPA i trykkfasthet.

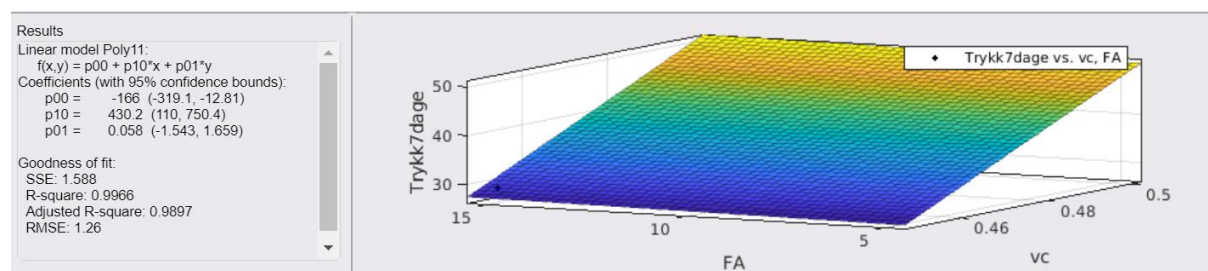
## 5.11 Flyveaske (FA) – V/C (WC)

Tabell 31 mengde av tilsetningsstoffer som ble brukt i denne miksen

| Dato       | Tidspunkt | mix desgin               |       | Materialer |              |          |         |      |              |     |            |           |
|------------|-----------|--------------------------|-------|------------|--------------|----------|---------|------|--------------|-----|------------|-----------|
|            |           |                          |       | SP(g)      | kalkstein(g) | WATER(g) | Fly ash | W/C  | Matrix volum | SP% | Kalkstein% | flyvaske% |
| 29.04.2021 | 11:33:00  | AC1 - M500-S01 -W50-FA15 | FA-WC | 12,796     |              | 549,010  | 191,937 | 0.50 | 500          | 1   | 0          | 15        |
| 29.04.2021 | 12:09:00  | AC2 - M500-S01 -W50-FA5  |       | 12,182     |              | 584,326  | 60,908  | 0.50 | 500          | 1   | 0          | 5         |
| 29.04.2021 | 12:48:00  | AC3 - M500-S01 -W45-FA5  |       | 12,949     |              | 558,632  | 64,745  | 0.45 | 500          | 1   | 0          | 5         |
| 29.04.2021 | 13:28:00  | AC4 - M500-S01 -W45-FA15 |       | 13,550     |              | 522,870  | 203,256 | 0.45 | 500          | 1   | 0          | 15        |

I denne tabellen over viser den de forskjellige mengde av materialer for blanding av flyveaske (FA) og V/C (WC). Tabellen viser antall prosent i kalkstein for 5 % og 15 % og v/c for 0.45 og 0.5 fra AC-1 til AC-4.

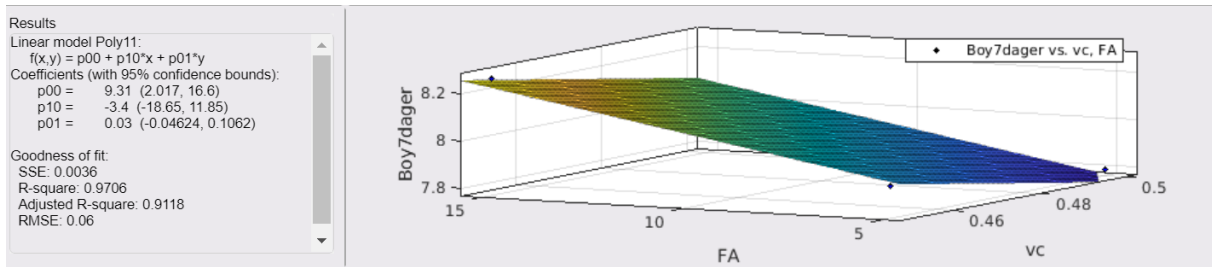
### 5.11.1 Flow table resultat



Figur 86 flow table resultat i forhold til flyveaske - WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom flyveaske (FA) og V/C (WC), x-aksen viser flyveaske og y-aksen viser v/c og z-aksen viser diameteren i cm i flow. Vi ser at i AC-1 har vi, flyveaske i 15 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 16.9 cm i diameter i flow, i AC-2 har vi, flyveaske i 5 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 19.13 cm i diameter i flow, i AC-3 har vi, flyveaske i 5 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 18.12 cm i diameter i flow, i AC-4 har vi, flyveaske i 15 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 14.51 cm i diameter i flow.

## 5.11.2      Sylinder resultat

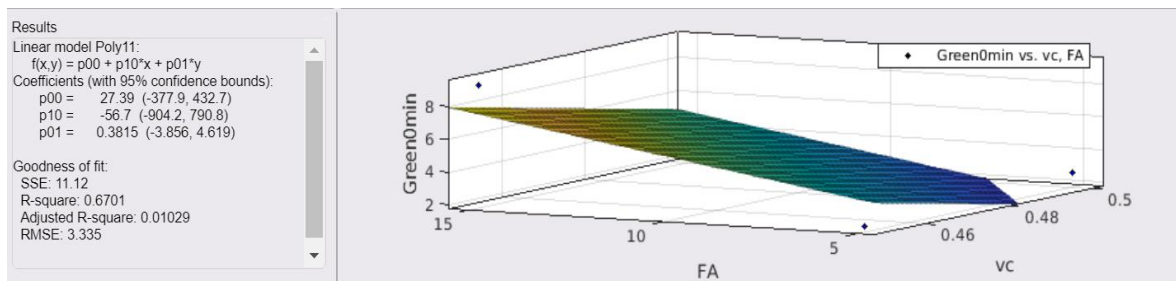


Figur 87 sylinder resultat i forhold til flyveaske - WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom flyveaske (FA) og V/C (WC), x-aksen viser flyveaske og y-aksen viser v/c og z-aksen viser høyde forskjellen i cm i sylinder. Vi ser at i AC-1 har vi, flyveaske i 15 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 5.9 cm i sylinder, i AC-2 har vi, flyveaske i 5 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 1.5 cm i sylinder, i AC-3 har vi, flyveaske i 5 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 5 cm i sylinder, i AC-4 har vi, flyveaske i 15 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 2.2 cm i sylinder.

## 5.11.3      Green strength resultat (0 og 15) min

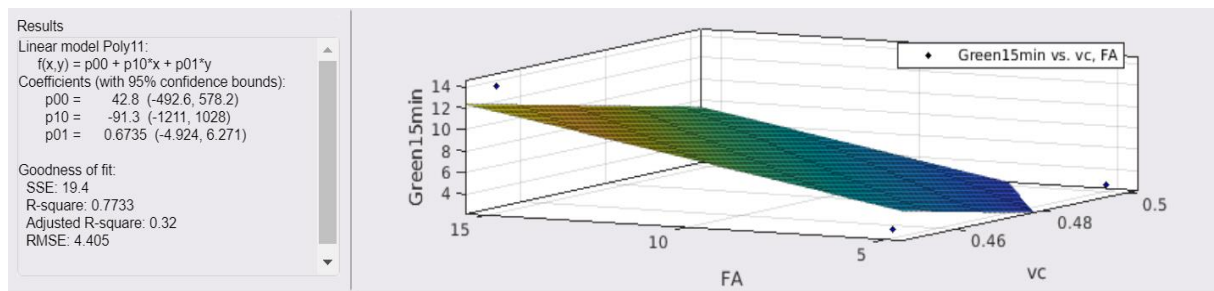
**0 min**



Figur 88 green strength resultat etter 0 min forhold til flyveaske - WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom flyveaske (FA) og V/C (WC), x-aksen viser flyveaske og y-aksen viser v/c og z-aksen viser mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i AC-1 har vi, flyveaske i 15 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 3.1 kg i 0 minutter i green strength, i AC-2 har vi, flyveaske i 5 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 2.62 kg i 0 minutter i green strength, i AC-3 har vi, flyveaske i 5 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 2.12 kg i 0 minutter i green strength, i AC-4 har vi, flyveaske i 15 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 9.27 kg i 0 minutter i green strength.

## 15 min



Figur 89 green strenght resultat etter 15min forhold til flyveaske - WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom flyveaske (FA) og V/C (WC), x-aksen viser flyveaske og y-aksen viser v/c og z-aksen viser mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i AC-1 har vi, flyveaske i 15 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 5.05 kg i 15 minutter i green strength, i AC-2 har vi, flyveaske i 5 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 2.72 kg i 15 minutter i green strength, i AC-3 har vi, flyveaske i 5 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 2.88 kg i 15 minutter i green strength, i AC-4 har vi, flyveaske i 15 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 14.02 kg i 15 minutter i green strength.

### 5.11.4 Extrudability resultat

Det ble gjennomført extrudability test i følge av tidligere studiet. Gjennomføring av testen, forklarte vi i kapittel (4.4.5 extrudability tester). Hensikten med testen er å teste betongens evne til å presses ut kontinuerlig, og det å kjenne flytbarheten av betongen resulterer om det er mulig å ekstrudere eller ikke.

Testen i AC-4 viser i (vedlegg A) at den var ikke ok og at den var for harde for å ekstrudere.

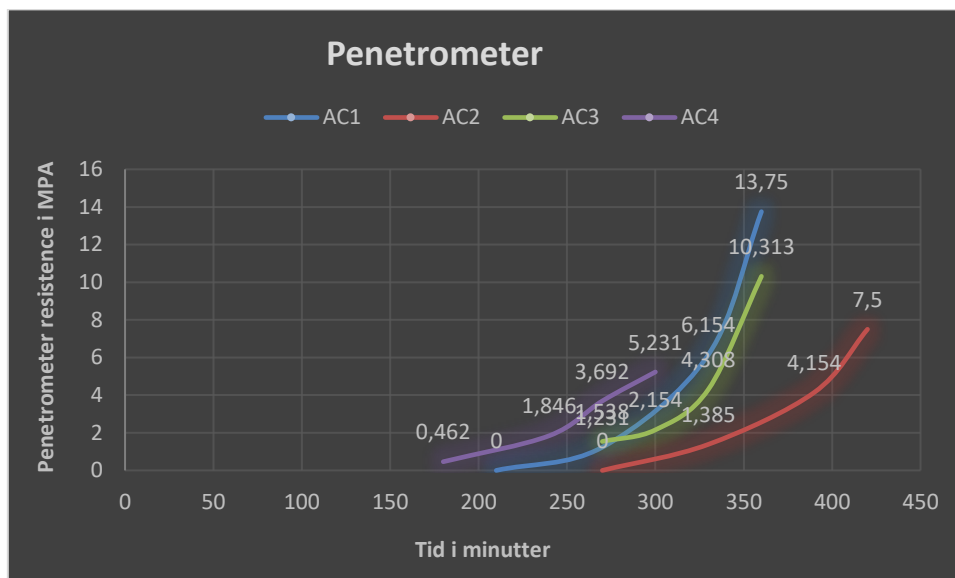
AC-1, AC-2 og AC-3 viser i (vedlegg A) at de var ok og hadde evnen til å ekstrudere, og de ble presset ut kontinuerlig uten overflate feil. I AC-1 ga resultater 1.386 cm i første måling på 5 cm, 1.452 cm i andre måling på 15 cm og 1.414 cm i tredje måling på 25 cm, i AC-2 ga resultater 1.584 cm i første måling på 5 cm, 1.599 cm i andre måling på 15 cm og 1.598 cm i tredje måling på 25 cm, og i AC-3 ga resultater 1.594 cm i første måling på 5 cm, 1.844 cm i andre måling på 15 cm og 1.794 cm i tredje måling på 25 cm.

## 5.11.5 Penetrometer

Tabell 32 penetrometer resultat

|                          |     |     |     |     |       |       |       |        |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|--------|
| AC1 - M500-S01 -W50-FA15 | 210 | 270 | 330 | 360 | 0     | 1,231 | 6,154 | 13,75  |
| AC2 - M500-S01 -W50-FA5  | 270 | 330 | 390 | 420 | 0     | 1,385 | 4,154 | 7,5    |
| AC3 - M500-S01 -W45-FA5  | 270 | 300 | 330 | 360 | 1,538 | 2,154 | 4,308 | 10,313 |
| AC4 - M500-S01 -W45-FA15 | 180 | 240 | 270 | 300 | 0,462 | 1,846 | 3,692 | 5,231  |

I tabellen over viser den, registrert tiden det tok i minutter fra første vannet ble tilsatt i blandingen og kraften i MPA som ble påført vertikalt gradvis og jevnt. Det ble gjennomført fire tester i fire forskjellige tider for hver blanding.



Figur 90 penetrometer i forhold til FA-VC

I grafen over viser x-aksen den tiden det tar i minutter for hver kraft som blir påført og y-aksen viser registrert kraften som ble påført i MPA. I AC-1 viser tid 1 etter 210 minutter og den registrerte påført kraften er 0 MPA, i tid 2 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 1.231 MPA, i tid 3 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 6.154 MPA og i tid 4 etter 360 minutter ble den registrerte påført kraften 13.75 MPA.

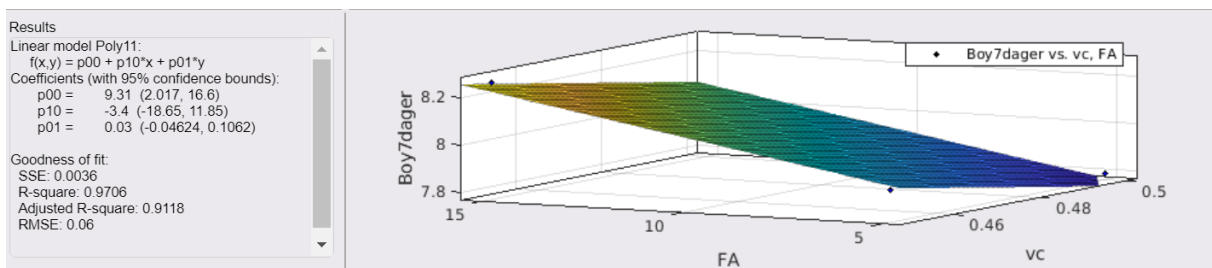
I AC-2 viser tid 1 etter 270 minutter og den registrerte påført kraften er 0 MPA, i tid 2 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 1.385 MPA, i tid 3 etter 390 minutter ble den registrerte påført kraften 4.154 MPA og i tid 4 etter 420 minutter ble den registrerte påført kraften 7.5 MPA.



I AC-3 viser tid 1 etter 270 minutter og den registrerte påført kraften er 1.538 MPA, i tid 2 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 2.154 MPA, i tid 3 etter 330 minutter ble den registrerte påført kraften 4.308 MPA og i tid 4 etter 360 minutter ble den registrerte påført kraften 10.313 MPA.

I AC-4 viser tid 1 etter 180 minutter og den registrerte påført kraften er 0.462 MPA, i tid 2 etter 240 minutter ble den registrerte påført kraften 1.846 MPA, i tid 3 etter 270 minutter ble den registrerte påført kraften 3.692 MPA og i tid 4 etter 300 minutter ble den registrerte påført kraften 5.231 MPA.

## 5.11.6 Bøyefasthet resultat 7 dager

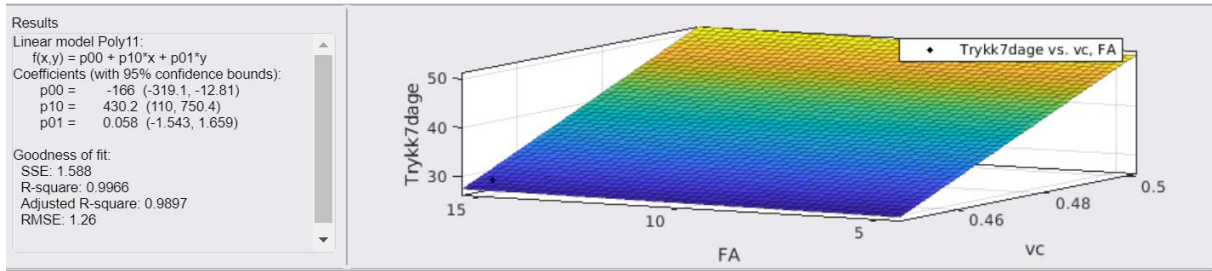


Figur 91 Bøyefasthet resultat etter 7 dager i forhold til flyveaske - WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom flyveaske (FA) og V/C (WC), x-aksen viser flyveaske og y-aksen viser v/c og z-aksen viser mengden den kan tåle i vekt i kg. Vi ser at i AC-1 har vi, flyveaske i 15 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 5.05 kg i 15 minutter i green strength, i AC-2 har vi, flyveaske i 5 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 2.72 kg i 15 minutter i green strength, i AC-3 har vi, flyveaske i 5 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 2.88 kg i 15 minutter i green strength, i AC-4 har vi, flyveaske i 15 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 14.02 kg i 15 minutter i green strength.

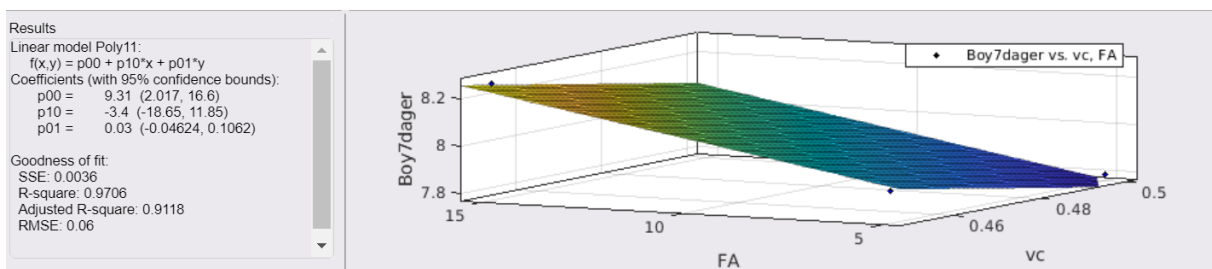
8,49 MPA i bøyefasthet.

## 5.11.7 Trykkfasthet resultat (7 og 28) dager



Figur 92 trykk resultat etter 7 dager i forhold til flyveaske – WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom flyveaske (FA) og v/c (WC), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser v/c og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I AC-1 har vi, flyveaske i 15 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 49.39 MPA i trykkfasthet, i AC-2 har vi, flyveaske i 5 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 50.07 MPA i trykkfasthet, i AC-3 har vi, kalkstein i 5 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 27.30 MPA i trykkfasthet og i AC-4 har vi, kalkstein i 15 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 29.14 MPA i trykkfasthet.



Figur 93 trykk resultat etter 28 dager i forhold til flyveaske – WC

I grafen over viser 3D-diagram av blandingen mellom flyveaske (FA) og v/c (WC), x-aksen viser kalkstein og y-aksen viser v/c og z-aksen viser kraften i MPA i 7 dager. I AC-1 har vi, flyveaske i 15 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 60.00 MPA i trykkfasthet, i AC-2 har vi, flyveaske i 5 % og v/c i 0.5 og den gir resultater 32.44 MPA i trykkfasthet, i AC-3 har vi, kalkstein i 5 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 38.32 MPA i trykkfasthet og i AC-4 har vi, kalkstein i 15 % og v/c i 0.45 og den gir resultater 42.36 MPA i trykkfasthet.

## 5.12 Resultater av maskinlæring

### 5.12.1 Flow table resultater

Tabell 33 Maskinlæring flow table resultat

| Miks design                 | Neural network predictions | lineær regresjon predictions |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-FA5     | 15.720798                  | 18.673594                    |
| AS1- M500-W50- S1 -FA5-LS20 | 14.634250                  | 15.858675                    |
| WB-02-M500-W,35-S.8         | 14.826246                  | 11.332037                    |
| AC4 - M500-S01 -W45-FA15    | 14.967607                  | 16.059499                    |
| VC5-M550W45S1               | 16.129992                  | 19.319708                    |
| VC4-M550W35S1               | 14.965561                  | 14.091518                    |
| LS-13                       | 13.903876                  | 12.635547                    |
| AV1- W4S1-M450-FA5          | 13.378115                  | 10.983621                    |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10     | 13.773870                  | 12.646976                    |

## 5.12.2 Sylinder resultater

Tabell 34 maskinlærling sylinder resultat

| Miks design                 | Neural network predictions | lineær regresjon predictions |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-FA5     | 37.489429                  | 50.886126                    |
| AS1- M500-W50- S1 -FA5-LS20 | 34.720577                  | 39.362593                    |
| WB-02-M500-W,35-S.8         | 33.210011                  | 12.589932                    |
| AC4 - M500-S01 -W45-FA15    | 33.604641                  | 36.725919                    |
| VC5-M550W45S1               | 38.141438                  | 51.634888                    |
| VC4-M550W35S1               | 31.910225                  | 23.314474                    |
| LS-13                       | 32.502872                  | 25.705909                    |
| AV1- W4S1-M450-FA5          | 28.510355                  | 13.922032                    |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10     | 27.805632                  | 16.300421                    |

### 5.12.3 Green strength resultater

#### Green strength 0

Tabell 35 Maskinlærling Green strength resultat

| Miks design                 | Neural network predictions | lineær regresjon predictions |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-FA5     | 9.798713                   | 4.336466                     |
| AS1- M500-W50- S1 -FA5-LS20 | 13.206105                  | 12.246914                    |
| WB-02-M500-W,35-S.8         | 11.390810                  | 20.106849                    |
| AC4 - M500-S01 -W45-FA15    | 12.196282                  | 10.797144                    |
| VC5-M550W45S1               | 9.255754                   | 2.284984                     |
| VC4-M550W35S1               | 13.034969                  | 15.206340                    |
| LS-13                       | 15.518007                  | 19.598005                    |
| AV1- W4S1-M450-FA5          | 16.337568                  | 22.705171                    |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10     | 15.964693                  | 20.322633                    |

#### Green strength 15

Tabell 36 Maskinlærling Green strength resultat

| Miks design                 | Neural network predictions | lineær regresjon predictions |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-FA5     | 10.845407                  | 5.614779                     |
| AS1- M500-W50- S1 -FA5-LS20 | 13.863280                  | 13.663696                    |
| WB-02-M500-W,35-S.8         | 14.089982                  | 24.303206                    |

|                          |           |           |
|--------------------------|-----------|-----------|
| AC4 - M500-S01 -W45-FA15 | 13.400944 | 12.692329 |
| VC5-M550W45S1            | 9.145871  | 4.028557  |
| VC4-M550W35S1            | 13.845339 | 18.183657 |
| LS-13                    | 16.605181 | 22.100221 |
| AV1- W4S1-M450-FA5       | 17.790791 | 25.768168 |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10  | 17.272158 | 22.435362 |

## 5.12.4 Penetrometer

*Tabell 37 Maskinlærling penetrometer resultat*

| Navn p  miks design         | Neural network predictions | lineær regresjon predictions |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-FA5     | 279.233002                 | 345.450265                   |
| AS1- M500-W50- S1 -FA5-LS20 | 253.140213                 | 266.505601                   |
| WB-02-M500-W,35-S.8         | 252.351440                 | 186.145917                   |
| AC4 - M500-S01 -W45-FA15    | 269.730164                 | 297.494644                   |
| VC5-M550W45S1               | 287.572968                 | 344.816060                   |
| VC4-M550W35S1               | 270.995361                 | 248.904819                   |
| LS-13                       | 239.873428                 | 193.474386                   |
| AV1- W4S1-M450-FA5          | 244.254333                 | 216.614345                   |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10     | 250.180466                 | 235.142285                   |

## 5.12.5 Trykkfasthet 7 dager

Tabell 38 Maskinlærling trykkfasthet 7dager

| Miks design                 | Neural network predictions | lineær regresjon predictions |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-FA5     |                            | 44.710066                    |
| AS1- M500-W50- S1 -FA5-LS20 |                            | 39.889919                    |
| WB-02-M500-W,35-S.8         |                            | 56.899279                    |
| AC4 - M500-S01 -W45-FA15    |                            | 46.652213                    |
| VC5-M550W45S1               |                            | 56.347492                    |
| VC4-M550W35S1               |                            | 60.231787                    |
| LS-13                       |                            | 43.942064                    |
| AV1- W4S1-M450-FA5          |                            | 43.419154                    |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10     |                            | 44.074289                    |

## 5.12.6 Bøyefasthet 7 dager

Tabell 39 Maskinlærling bøyfasthet 7dager

| Miks design                 | Neural network predictions | lineær regresjon predictions |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-FA5     | 6.790397                   | 7.086523                     |
| AS1- M500-W50- S1 -FA5-LS20 | 6.422942                   | 6.234340                     |
| WB-02-M500-W,35-S.8         | 7.605022                   | 8.421786                     |
| AC4 - M500-S01 -W45-FA15    | 6.989513                   | 7.305325                     |
| VC5-M550W45S1               | 7.425686                   | 8.354599                     |
| VC4-M550W35S1               | 7.677598                   | 8.792202                     |
| LS-13                       | 6.494591                   | 6.509246                     |
| AV1- W4S1-M450-FA5          | 6.688487                   | 6.957048                     |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10     | 6.989243                   | 7.041930                     |



# 6 Diskusjon og analyse

## 6.1 Flow table analyse

Slik vi har beskrevet i kap. 5.1.1, flow table resultater i (figur 11), har spredning av fersk betong ved bruk av kalkstein fått meste flytende på 17.57 cm i diameter i LS01 etter å ha brukt 10 % kalkstein, mens vi har fått den hardest på 16.5 cm i diameter i LS05 da vi brukte 50 % kalkstein. For å forstå oppførselen av kalkstein har vi gått fra minst andel prosent til høyeste. Det viser seg at jo mer andel prosent kalkstein vi tilsetter, jo mindre flyttende betongen blir. Vi hadde konstant matriks volum 500 [l/m<sup>3</sup>]. Det viser seg at alle blandinger i kalkstein hadde gode bearbeidbarhet egenskaper.

*Tabell 40 flow table analyse for LS*

| <b>Blandinger av kalkstein</b> | <b>Kalkstein i %</b> | <b>Resultater av flow tabel</b> |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| LS-01-M500-W,5-S1-LS-10        | 10                   | 17,57                           |
| LS-02-M500-W,5-S1-LS-20        | 20                   | 17,25                           |
| LS-03-M500-W,5-S1-LS-30        | 30                   | 17,15                           |
| LS-04-M500-W,5-S1-LS-40        | 40                   | 16,75                           |
| LS-05-M500-W,5-S1-LS-50        | 50                   | 16,50                           |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.2.1, flow table resultater i (figur 18), har spredning av fersk betong ved bruk av matriks volum fått meste flytende i diameter på 21 cm i MV06 etter å ha brukt matriks volum 650 [l/m<sup>3</sup>], og den hardest hadde diameter på 10 cm i MV02 da vi brukte 450 [l/m<sup>3</sup>] matriks volum. Her vil det si at når du bruker matriks volum på 650 [l/m<sup>3</sup>], og 700 [l/m<sup>3</sup>] gir meste flyttende på grunn av økningen i matriks volum.

*Tabell 41 flow table analyse for MV*

| <b>Blandinger av kalkstein</b> | <b>Matriks volum</b> | <b>Resultater av flow tabel</b> |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| MV-02-M450-W,4-S1              | 450                  | 10                              |
| MV-03-M500-W,4-S1              | 500                  | 15,46                           |
| MV-04-M550-W,4-S1              | 550                  | 18                              |
| MV-05-M600-W,4-S1              | 600                  | 18,75                           |
| MV-06-M650-W,4-S1              | 650                  | 21                              |
| MV-07-M700-W,4-S1              | 700                  | 20                              |
| MV-08-M475-W,4-S1              | 457                  | 13,56                           |
| MV-09-M525-W,4-S1              | 526                  | 17,48                           |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.3.1, flow table resultater i (figur 25), har spredning av fersk betong ved bruk av v/c fått meste flytende på 22.46 cm diameter i WB-06 etter å ha brukt 0.55 % av v/c, mens vi har fått den hardest på 12,2 cm diameter i WB-02 da vi brukte 0.35 %. For å forstå oppførselen av v/c har vi gått fra minst til høyeste og det viser seg at jo mer v/c vi bruker, jo mer flyttende betongen blir og da har betongen god bearbeidbarhet.

*Tabell 42 flow table analyse for V/C*

| <b>Blandinger av V/C</b> | <b>V/C i %</b> | <b>Resultater av flow tabel</b> |
|--------------------------|----------------|---------------------------------|
| WB-02-M500-W,35-S.8      | 0,35           | 12,2                            |
| WB-03-M500-W,4-S.8       | 0,40           | 14,25                           |
| WB-04-M500-W,45-S.8      | 0,45           | 17,52                           |
| WB-05-M500-W,5-S.8       | 0,50           | 19,5                            |
| WB-06-M500-W,55-S.8      | 0,55           | 22,46                           |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.4.1, flow table resultater i (figur 32), har spredning av fersk betong ved tilsetning av flyveaske i prosent fått meste flytende i diameter på 13,71 cm i FA01 etter å ha brukt 10 % av flyveaske og 13,02 cm i FA05 etter å ha brukt 5 % av flyveaske, mens vi har fått den hardest i diameter på 9,8 cm i FA03 da vi brukte 30 %. For å forstå oppførselen av flyveaske har vi gått fra minst til høyeste og det viser seg at jo mer vi tilsetter flyveaske, jo mindre flyttende betongen blir.

*Tabell 43 flow table analyse for FA*

| <b>Blandinger av flyveaske</b> | <b>Flyveaske i %</b> | <b>Resultater av flow tabel</b> |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10        | 10                   | 13,71                           |
| FA-2-M500-W,4-S.1-FA-20        | 20                   | 12,36                           |
| FA-3-M500-W,4-S.1-FA-30        | 30                   | 9,80                            |
| FA-5-M500-W,4-S.1-FA-5         | 5                    | 13,02                           |
| FA-6-M500-W,4-S.1-FA-15        | 15                   | 12,14                           |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.6.1, flow table resultater i (46), har spredning av fersk betong ved blanding av matriks volum og v/c fått meste flytende i diameter på 30 cm i VC6 etter å ha brukt matriks volum 550 [l/m<sup>3</sup>] og v/c 0,5 %, og den hardest hadde diameter på 11,2 cm i VC3 da vi brukte 550 [l/m<sup>3</sup>] matriks volum og v/c 0,3 %. Her vil det si, at når vi brukte samme matriks volum på 550 [l/m<sup>3</sup>] på begge blandningene og økte bare v/c prosent, har den gitt oss både meste flyttende og hardest. Det vil si at de virker parallelt og påvirker motsatt på hverandre, når du øker begge du får mer flyttende, men når du senker den ene og den andre er konstant blir det hardere blanding og får dårlig bearbeidbarhet.

*Tabell 44 flow table analyse for MV-VC*

| <b>Blandinger av V/C og MV</b> | <b>Matriks volum</b> | <b>V/c i %</b> | <b>Resultater av flow tabel</b> |
|--------------------------------|----------------------|----------------|---------------------------------|
| VC1-M450W45S1                  | 450                  | 0,45           | 11,73                           |
| VC2-M450W0,5S1                 | 450                  | 0,50           | 11,76                           |
| VC3-M550W30S1                  | 550                  | 0,30           | 11,02                           |
| VC4-M550W35S1                  | 550                  | 0,35           | 11,29                           |
| VC5-M550W45S1                  | 550                  | 0,45           | 21,67                           |
| VC6-M550W0,5S1                 | 550                  | 0,50           | 30,00                           |
| VC7-M475W0,5-S1                | 475                  | 0,50           | 16,98                           |

|                   |     |      |       |
|-------------------|-----|------|-------|
| VC8-M475W0,55-S1  | 475 | 0,55 | 19,37 |
| VC9-M525W0,35-S1  | 525 | 0,35 | 12,38 |
| VC11-M525W0,45-S1 | 525 | 0,45 | 19,10 |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.7.1, flow table resultater i (figur 54), har spredning av fersk betong ved blanding av matriks volum og kalkstein fått meste flytende i diameter på 17,75 cm i SV1 etter å ha brukt matriks volum 450 [l/m<sup>3</sup>] og kalkstein 20 %, og den hardest hadde diameter på 10,58 cm i SV2 da vi brukte 450 [l/m<sup>3</sup>] matriks volum og kalkstein 40 %. Her vil det si, at når vi brukte samme matriks volum på 450 [l/m<sup>3</sup>] på begge blandingene og økte bare kalkstein prosent, har den gitt oss både meste flyttende og hardest. Når vi øker matriks volum og minker kalkstein prosent får du mer flyttende blanding med god bearbeidbarhet.

*Tabell 45 flow table analyse for MV-LS*

| <b>Blandinger av MV og LS</b> | <b>Matrix volum</b> | <b>Kalkstein i %</b> | <b>Resultater av flow tabel</b> |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------|
| SV1-M450-W50-LS20-SP-1        | 450                 | 20                   | 17,75                           |
| SV2-M450-W50-LS40-SP-1        | 450                 | 40                   | 10,58                           |
| SV3-M550-W50-LS20-SP0,5       | 550                 | 20                   | 17,52                           |
| SV4-M550-W50-LS40-SP0,5       | 550                 | 40                   | 15,51                           |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.8.1, flow table resultater i (figur 62), har spredning av fersk betong ved blanding av matriks volum og flyveaske fått meste flytende i diameter på 17,7 cm i AV3 etter å ha brukt matriks volum 450 [l/m<sup>3</sup>] og flyveaske 5 %, og den hardest hadde diameter på 9,9 cm i AV2 da vi brukte 450 [l/m<sup>3</sup>] matriks volum og flyveaske 15 %. Her vil det si, at når vi brukte samme matriks volum på 450 [l/m<sup>3</sup>] på begge blandingene og økte bare flyveaske prosent, har den gitt oss både meste flyttende og hardest. Når vi øker matriks volum og minker flyveaske prosent får du mer flyttende blanding med god bearbeidbarhet.

*Tabell 46 flow table analyse for FA-MV*

| <b>Blandinger FA-MV</b> | <b>Matrix volum</b> | <b>Flyveaske i %</b> | <b>Resultater av flow tabel</b> |
|-------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------|
| AV1-W4S1-M450-FA5       | 450                 | 5                    | 10,38                           |
| AV2-W4S1-M450-FA15      | 450                 | 15                   | 9,90                            |
| AV3-W4S1-M550-FA5       | 550                 | 5                    | 17,7                            |

|                    |     |    |       |
|--------------------|-----|----|-------|
| AV4-W4S1-M550-FA15 | 550 | 15 | 14,75 |
|--------------------|-----|----|-------|

Slik vi har beskrevet i kapitel (5.9.1) flow table resultater i (figur 70), har spredning av fersk betong ved blanding av flyveaske og kalkstein i diameter på 11,38 cm i AS1 etter å ha brukt kalkstein på 20 % og flyveaske 5 %, og den hardest hadde diameter på 9,9 cm i AS2 da vi brukte kalkstein på 40 % og flyveaske 15 %. Her vil det si, at begge har påvirkning på hverandre, og om vi øker antall prosent til kalkstein, blir blandingen tørrere og dårlig bearbeidbarhet og det er den som har størst påvirkning på blandingen.

*Tabell 47 flow table analyse for FA-LS*

| Blandinger av FA og LS    | Kalkstein i % | Flyveaske i % | Resultater av flow tabel |
|---------------------------|---------------|---------------|--------------------------|
| AS1-M500-W50-S1-FA5-LS20  | 20            | 5             | 11,38                    |
| AS2-M500-W50-S1-FA5-LS40  | 40            | 5             | 9,90                     |
| AS3-M500-W50-S1-FA15-LS20 | 20            | 15            | 10,92                    |
| AS4-M500-W50-S1-FA15-LS40 | 40            | 15            | 10,83                    |

Slik vi har beskrevet i kapitel (5.10.1) flow table resultater i figur (78), har spredning av fersk betong ved blanding av kalkstein og v/c fått meste flytende i diameter på 13,56 cm i SC3 etter å ha brukt kalkstein på 20% og v/c 0,50%, og den hardest hadde diameter på 10,2 cm på både i SC1 og SC2 der brukte vi samme v/c på 0,45% men forskjellige mengde på kalkstein på 20% og 40%. Det viser seg at kalkstein gjør blandingen hardere med dårlig bearbeidbarhet, mens når vi øker antall prosent av v/c så gjør blandingen litt mer flyttende selv om vi ser all blandingene hadde dårlige bearbeidbarhet.

*Tabell 48 flow table analyse for V/C-LS*

| Blandinger av LS og V/C | Kalkstein | V/C % | Resultater av flow tabel |
|-------------------------|-----------|-------|--------------------------|
| SC-1M500-S01-W45-LS20   | 20        | 0,45  | 10,2                     |
| SC2-M500-S01-W45-LS40   | 40        | 0,45  | 10,2                     |
| SC3-M500-S01-W50-LS20   | 20        | 0,50  | 13,56                    |
| SC-4M500-S01-W50-LS40   | 40        | 0,50  | 10,56                    |

Slik vi har beskrevet i kapitel (5.11.1) flow table resultater i figur (86), har spredning av fersk betong ved blanding av flyveaske og v/c fått meste flytende i diameter på 19,13 cm i AC2 etter å ha brukt flyveaske på 5% og v/c 0,50%, og den hardest hadde diameter på 14,51 cm i AC4 etter at vi bruket v/c på 0,45% og flyveaske på 15%. Det viser seg at flyveaske har stor påvirkning på blandingen, det vil si når vi øker antall prosent i flyveaske blir blandingen tørr.

*Tabell 49 flow table analyse for V/C-FA*

| <b>Blandinger av FA og WC</b> | <b>Flyveaske i %</b> | <b>WC %</b> | <b>Resultater av flow tabel</b> |
|-------------------------------|----------------------|-------------|---------------------------------|
| AC1-M500-S01-W50-FA15         | 15                   | 0,50        | 16,9                            |
| AC2-M500-S01-W50-FA5          | 5                    | 0,50        | 19,13                           |
| AC3-M500-S01-W45-FA5          | 5                    | 0,45        | 18,12                           |
| AC4-M500-S01-W45-FA15         | 15                   | 0,45        | 14,51                           |

## 6.2 Sylinder analyse

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.1.2, sylinder resultater i figur 12, har styrken til betong varierte i forhold til prosent andel av kalkstein. Når vi ser på figur 14, så ser vi at LS02 er den som deformerte seg minst (fra 6 cm til 2,9 cm) høyde, og den ga  $\Delta H = 3,1$  cm, og den som deformerer seg mest er LS04 og LS05, siden de tålte ikke sin egen vekt (SCC) og grunnen til det var at de var flyttende og hadde hulrom som gjøre det lettere å kollapse.

I denne her testen kunne det ha vært feilkilde, enten med unøyaktighet måling eller vi kom bort i de testen da vi utførte de.

*Tabell 50 sylinder analyse for LS*

| <b>Blandinger av Kalkstein</b> | <b>Kalkstein i %</b> | <b><math>\Delta H</math></b> |
|--------------------------------|----------------------|------------------------------|
| LS-01-M500-W,5-S1-LS-10        | 10                   | 6,1                          |
| LS-02-M500-W,5-S1-LS-20        | 20                   | 3,1                          |
| LS-03-M500-W,5-S1-LS-30        | 30                   | 6,2                          |
| LS-04-M500-W,5-S1-LS-40        | 40                   | SCC                          |
| LS-05-M500-W,5-S1-LS-50        | 50                   | SCC                          |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.2.2, sylindere resultater i figur 19 har styrken til betong varierte i forhold til matriks volum [ $l/m^3$ ]. Vi ser at i MV-06 er den som deformerte seg mest fra (10 cm – 5,5 cm) høyde i egen vekt før vi satt vekt på den så gikk den ned enda mer til  $\Delta H = 4,3$  cm, og grunnen til det var at den som var meste flytende, og den som deformerer seg minst er MV-08 fra (10 cm – 9 cm) høyde og  $\Delta H = 1$  cm og grunnen til det var at den var ganske tørr.

*Tabell 51 sylindere analyse for MV*

| <b>Blandinger av Matrix volum</b> | <b>Matriks volum</b> | <b><math>\Delta H</math></b> |
|-----------------------------------|----------------------|------------------------------|
| MV-02-M450-W,4-S1                 | 450                  | 0                            |
| MV-03-M500-W,4-S1                 | 500                  | 3,9                          |
| MV-04-M550-W,4-S1                 | 550                  | 4,2                          |
| MV-05-M600-W,4-S1                 | 600                  | 5                            |
| MV-06-M650-W,4-S1                 | 650                  | 4,3                          |
| MV-07-M700-W,4-S1                 | 700                  | 5                            |
| MV-08-M475-W,4-S1                 | 457                  | 1                            |
| MV-09-M525-W,4-S1                 | 526                  | 6,3                          |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.3.2, sylindere resultater i figur 26, har styrken til betong varierte i forhold til prosent andel av V/C. Når vi ser på figur 14, så ser vi at WB02 er den som deformerte seg minst (fra 9,7 cm til 9,4 cm) høyde, og den ga  $\Delta H = 0,3$  cm, og den som deformerer seg mest er WB-06 og WB-05, siden de tålte ikke sin egen vekt, grunnen til det var at de var flyttende og hadde hulrom som gjøre det lettere å kollapse.

*Tabell 52 sylindere analyse for V/C*

| <b>Blandinger av V/C (WB)</b> | <b>V/C i %</b> | <b><math>\Delta H</math></b> |
|-------------------------------|----------------|------------------------------|
| WB-02-M500-W,35-S.8           | 0,35           | 0,3                          |
| WB-03-M500-W,4-S.8            | 0,40           | 2                            |
| WB-04-M500-W,45-S.8           | 0,45           | 4,8                          |
| WB-05-M500-W,5-S.8            | 0,50           | 3,2                          |
| WB-06-M500-W,55-S.8           | 0,55           | 2,4                          |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.4.2, sylindere resultater i figur 33, har styrken til betong varierte i forhold til flyveaske prosenten vi tilsetter. Vi ser at i FA-1 er den som deformerte seg mest fra (9,9 cm – 8,2 cm) høyde og  $\Delta H = 1,7$  cm, og grunnen til det var at den som var mer flytende enn alle de andre blandingene, og den som deformerer seg minst er FA3 fra (10 cm – 9,9 cm) høyde og  $\Delta H = 0,1$  cm og grunnen til det var at den var ganske tørr og tålte 5,6 kg vekten.

*Tabell 53 sylindere analyse for FA*

| <b>Blandinger av Flyveaske (FA)</b> | <b>Flyveaske i %</b> | <b><math>\Delta H</math></b> |
|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10             | 10                   | 1,7                          |
| FA-2-M500-W,4-S.1-FA-20             | 20                   | 0,4                          |
| FA-3-M500-W,4-S.1-FA-30             | 30                   | 0,1                          |
| FA-5-M500-W,4-S.1-FA-5              | 5                    | 1                            |
| FA-6-M500-W,4-S.1-FA-15             | 15                   | 0,3                          |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.6.2, sylindere resultater i figur 47, har styrken til betong varierte i forhold til v/c prosenten og matriks volum [ $l/m^3$ ] vi tilsetter. Vi ser at i VC5 og VC6 er de som deformerte seg mest siden de tålte ikke sin egen vekt, og grunnen til det var at de var veldig flytende enn alle de andre blandingene, og den som deformerer seg minst er VC4 fra (10 cm – 9,7 cm) høyde og gir  $\Delta H = 0,3$  cm og grunnen til det var at den var ganske tørr. Det vil si at de virker parallelt og samtidig påvirker motsatt på hverandre, når du øker begge du får mer flyttende, men når du senker den ene og den andre er konstant blir det hardere blanding og får bedre styrke, men dårlige bearbeidbarhet.

*Tabell 54 sylindere analyse for MV-V/C*

| <b>Blandinger av MV-V/C</b> | <b>Matriks volum</b> | <b>V/c i %</b> | <b><math>\Delta H</math></b> |
|-----------------------------|----------------------|----------------|------------------------------|
| VC1-M450W45S1               | 450                  | 0,45           | 0,5                          |
| VC2-M450W0,5S1              | 450                  | 0,50           | 0,9                          |
| VC3-M550W30S1               | 550                  | 0,30           | 0,5                          |
| VC4-M550W35S1               | 550                  | 0,35           | 0,3                          |
| VC5-M550W45S1               | 550                  | 0,45           | 0                            |
| VC6-M550W0,5S1              | 550                  | 0,50           | 0                            |
| VC7-M475W0,5-S1             | 475                  | 0,50           | 5,8                          |



|                   |     |      |     |
|-------------------|-----|------|-----|
| VC8-M475W0,55-S1  | 475 | 0,55 | 3,4 |
| VC9-M525W0,35-S1  | 525 | 0,35 | 0,5 |
| VC11-M525W0,45-S1 | 525 | 0,45 | 3,4 |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.7.2, sylinter resultater i figur 55, har styrken til betong varierte i forhold til kalkstein prosenten og matriks volum [ $l/m^3$ ] vi tilsetter. Vi ser at i SV1 er den som deformerte seg mest siden de tålte ikke sin egen vekt og gikk ned til 7,8 cm høyde med engang vi tok bort sylindren, og grunnen til det var at de var ganske flyttende og etter vi har satt vekt på den gikk den ned til  $\Delta H = 5,4$  cm, og den som deformerer seg minst er SV2 fra (10 cm – 9,5 cm) høyde og gir  $\Delta H = 0,5$  cm og grunnen til det var at den var ganske tørr. Når vi minker matriks volum og øker kalkstein prosent i blandingen får vi hardere blanding med god styrke og dårlig bearbeidbarhet.

*Tabell 55 sylinter analyse for LS-MV*

| Blandinger av LS- MV    | Matrix volum | Kalkstein i % | $\Delta H$ |
|-------------------------|--------------|---------------|------------|
| SV1-M450-W50-LS20-SP-1  | 450          | 20            | 5,4        |
| SV2-M450-W50-LS40-SP-1  | 450          | 40            | 0,5        |
| SV3-M550-W50-LS20-SP0,5 | 550          | 20            | 6,6        |
| SV4-M550-W50-LS40-SP0,5 | 550          | 40            | 2,9        |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.8.2, sylinter resultater i figur 63, har styrken til betong varierte i forhold til flyveaske prosenten og matriks volum [ $l/m^3$ ] vi tilsetter. Vi ser at i AV3 er den som deformerte seg mest siden den gikk ned fra (8,7 cm - 2,5 cm) høyde og gir  $\Delta H = 6,2$  cm, og grunnen til det var at den mest flyttende. Den som deformerer seg minst, er AV2 uten endring i høyde etter vi har satt på vekten og grunnen til det var at den var ganske tørr. Det vil si, at når vi øker matriks volum og minker flyveaske prosent får du mer flyttende blanding med dårlig styrke og god bearbeidbarhet.

*Tabell 56 sylinter analyse for FA-MV*

| Blandinger av FA-MV | Matrix volum | Flyveaske i % | $\Delta H$ |
|---------------------|--------------|---------------|------------|
| AV1-W4S1-M450-FA5   | 450          | 5             | 0,2        |
| AV2-W4S1-M450-FA15  | 450          | 15            | 0          |

|                    |     |    |     |
|--------------------|-----|----|-----|
| AV3-W4S1-M550-FA5  | 550 | 5  | 6,2 |
| AV4-W4S1-M550-FA15 | 550 | 15 | 1,5 |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.9.2, sylindere resultater i figur 71, har styrken til betong varierte i forhold til flyveaske og kalkstein prosenten vi tilsetter. Vi ser at i AS1 er den som deformerte seg mest siden den gikk ned fra (10 cm - 9,5 cm) høyde og gir  $\Delta H = 0,5$  cm, og grunnen til det var at den er mest flyttende av de blandingene. Den som deformerer seg minst, er AS2 med 0,2 cm endring i høyde etter vi har satt på vekten og grunnen til det var at den var ganske tørr. Her vil det si, at kalkstein har den størst påvirkning på blandingen, og om vi øker antall prosent til kalkstein, blir blandingen tørrere med god styrke og dårlig bearbeidbarhet.

*Tabell 57 sylindere analyse for FA-LS*

| Blandinger av FA-LS       | Kalkstein i % | Flyveaske i % | $\Delta H$ |
|---------------------------|---------------|---------------|------------|
| AS1-M500-W50-S1-FA5-LS20  | 20            | 5             | 0,5        |
| AS2-M500-W50-S1-FA5-LS40  | 40            | 5             | 0,2        |
| AS3-M500-W50-S1-FA15-LS20 | 20            | 15            | 0,4        |
| AS4-M500-W50-S1-FA15-LS40 | 40            | 15            | 0,4        |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.10.2, sylindere resultater i figur 79, har styrken til betong varierte i forhold til matriks volum og kalkstein prosenten vi tilsetter. Vi ser at i SC3 er den som deformerte seg mest siden den gikk ned fra (9,3 cm – 7,9 cm) høyde og gir  $\Delta H = 1,4$  cm, og grunnen til det var at den er litt mer flyttende enn de andre blandingene. Alle andre blandingene SC1, SC2, og SC3 deformerte seg like mye med 0,3 cm endring i høyde etter vi har satt på vekten og grunnen til det var at de var ganske tørre. Det viser seg at kalkstein gjør blandingen hardere, mens når vi øker antall prosent av v/c og minker kalkstein prosenten så blir blandingen litt mer flyttende selv om vi ser all blandingene hadde god styrke, men dårlig bearbeidbarhet.

*Tabell 58 sylindere analyse for LS-VC*

| Blandinger av LS-WC   | Kalkstein | V/C % | $\Delta H$ |
|-----------------------|-----------|-------|------------|
| SC1-M500-S01-W45-LS20 | 20        | 0,45  | 0,3        |
| SC2-M500-S01-W45-LS40 | 40        | 0,45  | 0,3        |

|                       |    |      |     |
|-----------------------|----|------|-----|
| SC3-M500-S01-W50-LS20 | 20 | 0,50 | 1,4 |
| SC-4M500-S01-W50-LS40 | 40 | 0,50 | 0,3 |

Slik vi har beskrevet i kapitel 5.11.2, sylindere resultater i figur 87, har styrken til betong varierte i forhold til flyveaske og v/c prosenten vi tilsetter. Vi ser at i AC2 er den som deformerte seg mest med egen vekt på 3 cm høyde og den gikk ned enda mer med vekten på fra (3 cm – 1,5 cm) høyde og gir  $\Delta H = 1,5$  cm, og grunnen til det var at den var veldig flyttende. AC4 deformerte seg minst med 2,2 cm endring i høyde etter vi har satt på vekten og grunnen til det var at den var ganske tørr. Det viser seg at flyveaske har stor påvirkning på blandingen, det vil si når vi øker antall prosent i flyveaske blir blandingen tørrere.

*Tabell 59 sylindere analyse for FA-VC*

| Blandinger av FA-WC   | Flyveaske i % | WC % | $\Delta H$ |
|-----------------------|---------------|------|------------|
| AC1-M500-S01-W50-FA15 | 15            | 0,50 | 5,9        |
| AC2-M500-S01-W50-FA5  | 5             | 0,50 | 1,5        |
| AC3-M500-S01-W45-FA5  | 5             | 0,45 | 5          |
| AC4-M500-S01-W45-FA15 | 15            | 0,45 | 2,2        |

### 6.3 Green strength analyse

*Tabell 60 green strength analyse i LS*

| Blandinger av Kalkstein | Kalkstein i % | Green 0 min | Green 15min |
|-------------------------|---------------|-------------|-------------|
| LS-01-M500-W,5-S1-LS-10 | 10            | 0           | 2,09        |
| LS-02-M500-W,5-S1-LS-20 | 20            | 2,2         | 2,14        |
| LS-03-M500-W,5-S1-LS-30 | 30            | 4,41        | 4,37        |
| LS-04-M500-W,5-S1-LS-40 | 40            | 2,9         | 6,2         |
| LS-05-M500-W,5-S1-LS-50 | 50            | 3,66        | 3,74        |

Som vi ser i resultatene over for green strength i kalkstein, ser vi jo mer kalkstein prosent vi tilsetter jo hardere blandingen blir og da tåler den mer vekt.

Tabell 61 Green strength analyse for MV

| Navn på miks design | Matriks volum | Green 0 min i kg | Green 15 min i kg |
|---------------------|---------------|------------------|-------------------|
| MV-02-M450-W,4-S1   | 450           | 31               | 31                |
| MV-03-M500-W,4-S1   | 500           | 8,16             | 13,76             |
| MV-04-M550-W,4-S1   | 550           | 1,68             | 2,77              |
| MV-05-M600-W,4-S1   | 600           | 2,78             | 2,54              |
| MV-06-M650-W,4-S1   | 650           | 2,03             | 2,74              |
| MV-07-M700-W,4-S1   | 700           | 1,73             | 3,25              |
| MV-08-M475-W,4-S1   | 457           | 10,54            | 22,45             |
| MV-09-M525-W,4-S1   | 526           | 2,23             | 4,49              |

I følge av resultatene i kapitel 5.2.3 i figur 20, viser at MV02 som hadde matriks volum på 450 [l/m<sup>3</sup>] tålte den meste på 31 kg i både (0 og 15) minutter av alle andre blandinger. Når vi ser på resultatene ser vi at MV06 tålte minste av alle i både (0 og 15) minutter. Når vi tenker på helheten, ser vi at med økningen i matriks volum blir blanding mer flyttende og den tåler mindre vekt. Vi kan se klart at green strength resultater har sammenheng med både flow table og sylinder resultater.

Tabell 62 Green strength analyse for V/C

| Navn på miks design | V/C i % | Green 0min | Green 15min |
|---------------------|---------|------------|-------------|
| WB-02-M500-W,35-S.8 | 0,35    | 21,82      | 28,82       |
| WB-03-M500-W,4-S.8  | 0,40    | 12,22      | 13,73       |
| WB-04-M500-W,45-S.8 | 0,45    | 2,83       | 5,48        |
| WB-05-M500-W,5-S.8  | 0,50    | 2,72       | 2,06        |
| WB-06-M500-W,55-S.8 | 0,55    | 1,04       | 3,08        |

I følge av resultatene i kapitel 5.3.3 og figuren 27, viser at WB02 som hadde v/c på 0,35 % tålte den meste på 21,82 kg i 0 minutter og 28,82 i 15 minutter av alle andre blandinger. Når vi ser på resultatene ser vi at WB06 tålte minste av alle i både (0 og 15) minutter. Når vi tenker på hele v/c blandingen, ser vi at med økningen i v/c % blir blanding mer flyttende og den tåler mindre vekt. Vi kan se klart at green strength resultater har sammenheng med både flow table og sylinder resultater.

Tabell 63 Green strength analyse for FA

| Navn på miks design     | Flyveaske i % | Green 0min | Green 15min |
|-------------------------|---------------|------------|-------------|
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10 | 10            | 13,78      | 18,07       |
| FA-2-M500-W,4-S.1-FA-20 | 20            | 31         | 31          |
| FA-3-M500-W,4-S.1-FA-30 | 30            | 31         | 31          |
| FA-5-M500-W,4-S.1-FA-5  | 5             | 13,99      | 19,07       |
| FA-6-M500-W,4-S.1-FA-15 | 15            | 28,58      | 31          |

I følge av resultatene i kapitel 5.4.3 og figuren 34, viser at FA-2 og FA-3 som hadde flyveaske på (20 og 30) % tålte den meste på 31 kg i (0 og 15) minutter av alle andre blandinger. Når vi ser på resultatene ser vi at FA-1 tålte minste av alle i 0 min tåler den 13,78 kg og 15 minutter 18,07 kg. Når vi tenker på hele flyveaske blandingen, ser vi at med økningen i flyveaske % blir blanding mer hard og den tåler mer vekt. Vi kan se klart at green strength resultater har sammenheng med både flow table og sylinder resultater.

Tabell 64 Green strength analyse for MV-V/C

| Navn på miks design | Matriks volum | v/c  | Green 0min | Green 15min |
|---------------------|---------------|------|------------|-------------|
| VC1-M450W45S1       | 450           | 0,45 | 20,97      | 22,76       |
| VC2-M450W0,5S1      | 450           | 0,50 | 18,45      | 19,84       |
| VC3-M550W30S1       | 550           | 0,30 | 31         | 31          |
| VC4-M550W35S1       | 550           | 0,35 | 31         | 31          |
| VC5-M550W45S1       | 550           | 0,45 | SCC        | SCC         |
| VC6-M550W0,5S1      | 550           | 0,50 | SCC        | SCC         |
| VC7-M475W0,5-S1     | 475           | 0,50 | 5,57       | 6,11        |
| VC8-M475W0,55-S1    | 475           | 0,55 | 3,1        | 3,17        |
| VC9-M525W0,35-S1    | 525           | 0,35 | 18,97      | 21          |
| VC11-M525W0,45-S1   | 525           | 0,45 | 2,35       | 4,08        |

Når vi ser på green strength resultatene i kap. 5.6.3 og i både figur (48) og (49) så ser vi at på VC4 tåler den meste fordi vi har mindre andel prosent i v/c selv om den har ganske høy matriks volum, og når vi øker prosenten av v/c så blir blandingen mer flyttende og det ser vi klart i både VC 5 og VC6. Det forteller oss at blandingen vår dårlig styrke siden den klarer ikke å holde sin egen vekt.

Tabell 65 Green strength analyse for MV-LS

| Navn på miks design     | Matrix volum | kalkstein | Green 0min | Green 15min |
|-------------------------|--------------|-----------|------------|-------------|
| SV1-M450-W50-LS20-SP-1  | 450          | 20        | 2,29       | 4,34        |
| SV2-M450-W50-LS40-SP-1  | 450          | 40        | 28,31      | 31          |
| SV3-M550-W50-LS20-SP0,5 | 550          | 20        | 3,59       | 5,64        |
| SV4-M550-W50-LS40-SP0,5 | 550          | 40        | 7,86       | 13,85       |

Når det gjelder forholdet mellom matriks volum og kalkstein så ser vi at den tåler mest vekt i SV2 i både (0 og 15) minutter med 28,31 kg og 31kg, fordi vi hadde 40 % i kalkstein og 450 i matriks volum og etter vi har brukt litt høyere matriks på 550 i SV4 med sammen antall prosent for kalkstein i 40 % ble blandingen mer flyttende. I SV3 ser vi, at vi har fått den mest flyttende etter å ha brukt 550 matriks volum og 20 % flyveaske og det betyr at jo høyere matriks volum vi bruker og mindre flyveaske jo mer flyttende blandingen blir og den tåler mindre vekt.

Tabell 66 Green strength analyse for FA-MV

| Blandinger av FA-MV | Matrix volum | Flyveaske | Green 0min | Green 15min |
|---------------------|--------------|-----------|------------|-------------|
| AV1-W4S1-M450-FA5   | 450          | 5         | 31         | 31          |
| AV2-W4S1-M450-FA15  | 450          | 15        | 31         | 31          |
| AV3-W4S1-M550-FA5   | 550          | 5         | 2,4        | 2,92        |
| AV4-W4S1-M550-FA15  | 550          | 15        | 6,67       | 11,94       |

Matriks volum har stor påvirkning på blandingen mellom FA-MV, og den ser vi klart i blanding AV3 og AV4. Når vi øker matriks volum så blir blandingen mer flyttende og den tåler mindre i vekt.

Tabell 67 Green strength analyse for FA-LS

| Blandinger av FA-LS       | Kalkstein i % | Flyveaske % | Green 0min | Green 15min |
|---------------------------|---------------|-------------|------------|-------------|
| AS1-M500-W50-S1-FA5-LS20  | 20            | 5           | 20,02      | 31          |
| AS2-M500-W50-S1-FA5-LS40  | 40            | 5           | 31         | 31          |
| AS3-M500-W50-S1-FA15-LS20 | 20            | 15          | 31         | 31          |

|                           |    |    |    |    |
|---------------------------|----|----|----|----|
| AS4-M500-W50-S1-FA15-LS40 | 40 | 15 | 31 | 31 |
|---------------------------|----|----|----|----|

Resultatene i kap. 5.9.3 i fig. 72 og 73 viser at når vi blander både kalkstein og flyveaske blir blandingene ganske hard og de tåler veldig mye i green strength både i (0 og 15) minutter siden de er veldig tørre.

*Tabell 68 Green strength analyse for LS-V/C*

| <b>Blandinger av LS-V/C</b> | <b>Kalkstein</b> | <b>V/C</b> | <b>Green 0 min</b> | <b>Green 15min</b> |
|-----------------------------|------------------|------------|--------------------|--------------------|
| SC-1M500-S01-W45-LS20       | 20               | 0,45       | 24,93              | 31                 |
| SC2-M500-S01-W45-LS40       | 40               | 0,45       | 31                 | 31                 |
| SC3-M500-S01-W50-LS20       | 20               | 0,50       | 10,68              | 17,26              |
| SC-4M500-S01-W50-LS40       | 40               | 0,50       | 31                 | 31                 |

I blandingen mellom kalkstein og v/c, ser vi på blanding mellom SC2 og SC4 at kalkstein har veldig stor påvirkning.

*Tabell 69 Green strength analyse for FA-V/C*

| <b>Blandinger av FA-VC</b> | <b>Flyveaske</b> | <b>V/C %</b> | <b>Green 0 min</b> | <b>Green 15min</b> |
|----------------------------|------------------|--------------|--------------------|--------------------|
| AC1-M500-S01-W50-FA15      | 15               | 0,50         | 3,1                | 5,05               |
| AC2-M500-S01-W50-FA5       | 5                | 0,50         | 2,62               | 2,72               |
| AC3-M500-S01-W45-FA5       | 5                | 0,45         | 2,12               | 2,88               |
| AC4-M500-S01-W45-FA15      | 15               | 0,45         | 9,27               | 14,02              |

I blandingen mellom flyveaske og v/c, ser vi på helheten av alle blandinger at flyveaske har veldig den stor påvirkning i alle blandinger. Jo mindre flyveaske og mer v/c jo mer flyttende blandingen.

## 6.4 Extrudability analyse

Tabell 70 Alle extrudability resultat med analyse

| Navn på miks design     | Etter<br>5cm | Etter<br>15cm | Etter<br>25cm | Resultat |
|-------------------------|--------------|---------------|---------------|----------|
| LS-01-M500-W,5-S1-LS-10 |              |               |               | ok       |
| LS-02-M500-W,5-S1-LS-20 |              |               |               | ok       |
| LS-03-M500-W,5-S1-LS-30 |              |               |               | ok       |
| LS-04-M500-W,5-S1-LS-40 |              |               |               | ok       |
| LS-05-M500-W,5-S1-LS-50 |              |               |               | ok       |
| MV-02-M450-W,4-S1       |              |               |               | Ikke ok  |
| MV-03-M500-W,4-S1       |              |               |               | Ikke ok  |
| MV-04-M550-W,4-S1       |              |               |               | Ikke ok  |
| MV-05-M600-W,4-S1       | 1,635        | 1,650         | 1,781         | ok       |
| MV-06-M650-W,4-S1       | 1,433        | 1,528         | 1,564         | ok       |
| MV-07-M700-W,4-S1       | 1,322        | 1,368         | 1,415         | ok       |
| MV-08-M475-W,4-S1       |              |               |               | Ikke ok  |
| MV-09-M525-W,4-S1       | 1,103        | 1,338         | 1,556         | ok       |
| WB-02-M500-W,35-S.8     |              |               |               | Ikke ok  |
| WB-03-M500-W,4-S.8      |              |               |               | Ikke ok  |
| WB-04-M500-W,45-S.8     | 1,370        | 1,580         | 1,632         | ok       |
| WB-05-M500-W,5-S.8      | 1,609        | 1,682         | 1,761         | ok       |
| WB-06-M500-W,55-S.8     | 1,696        | 1,743         | 1,631         | ok       |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10 |              |               |               | Ikke ok  |
| FA-2-M500-W,4-S.1-FA-20 |              |               |               | Ikke ok  |
| FA-3-M500-W,4-S.1-FA-30 |              |               |               | Ikke ok  |
| FA-5-M500-W,4-S.1-FA-5  |              |               |               | Ikke ok  |
| FA-6-M500-W,4-S.1-FA-15 |              |               |               | Ikke ok  |
| VC1-M450W45S1           |              |               |               | Ikke ok  |



|                           |       |       |       |         |
|---------------------------|-------|-------|-------|---------|
| VC2-M450W0,5S1            |       |       |       | Ikke ok |
| VC3-M550W30S1             |       |       |       | Ikke ok |
| VC4-M550W35S1             |       |       |       | Ikke ok |
| VC5-M550W45S1             | 1,566 | 1,938 | 2,177 | ok      |
| VC6-M550W0,5S1            |       |       |       | Ikke ok |
| VC7-M475W0,5-S1           |       |       |       | Ikke ok |
| VC8-M475W0,55-S1          |       |       |       | Ikke ok |
| VC9-M525W0,35-S1          |       |       |       | Ikke ok |
| VC11-M525W0,45-S1         | 1,555 | 1,208 | 1,359 | ok      |
| SV1-M450-W50-LS20-SP-1    | 1,279 | 1,429 | 1,539 |         |
| SV2-M450-W50-LS40-SP-1    |       |       |       |         |
| SV3-M550-W50-LS20-SP0,5   | 1,340 | 1,528 | 1,794 | ok      |
| SV4-M550-W50-LS40-SP0,5   | 1,256 | 1,546 | 1,616 | ok      |
|                           |       |       |       |         |
| AV1-W4S1-M450-FA5         |       |       |       | Ikke ok |
| AV2-W4S1-M450-FA15        |       |       |       | Ikke ok |
| AV3-W4S1-M550-FA5         | 1,666 | 1,625 | 1,708 | ok      |
| AV4-W4S1-M550-FA15        | 1,301 | 1,74  | 1,645 | ok      |
|                           |       |       |       |         |
| AS1-M500-W50-S1-FA5-LS20  |       |       |       | Ikke ok |
| AS2-M500-W50-S1-FA5-LS40  |       |       |       | Ikke ok |
| AS3-M500-W50-S1-FA15-LS20 |       |       |       | Ikke ok |
| AS4-M500-W50-S1-FA15-LS40 |       |       |       | Ikke ok |
| SC-1M500-S01-W45-LS20     |       |       |       | Ikke ok |
| SC2-M500-S01-W45-LS40     |       |       |       | Ikke ok |
| SC3-M500-S01-W50-LS20     |       |       |       | Ikke ok |
| SC-4M500-S01-W50-LS40     |       |       |       | Ikke ok |
| AC1-M500-S01-W50-FA15     | 1,386 | 1,452 | 1,414 | Ok      |
| AC2-M500-S01-W50-FA5      | 1,584 | 1,599 | 1,598 | Ok      |
| AC3-M500-S01-W45-FA5      | 1,594 | 1,844 | 1,794 | Ok      |
| AC4-M500-S01-W45-FA15     |       |       |       | Ikke ok |

I tabellen over ser vi resultatene vi har fått for alle de forskjellige blandingene i extrudability testen, den testen har sammenheng med flow table testen som fortalte oss om blandingen kunne ekstruderes eller ikke. Alle de testene som kunne ekstruderes kalt vi ok og de andre som ikke kunne ikke ok, men det var noen tester som var veldig flyttende og som ikke kunne ekstruderes. Det kan være på grunn av unøyaktighet ved ekstrudering eller feil utføring av testen siden vi måtte utføre testen for hånd og det er lett å gjøre feil.

## 6.5 Penetrometer analyse

*Tabell 71 Alle Penetrometer resultat med analyse*

| <b>Miks navn</b>        | <b>Kalkstein<br/>i %</b> | <b>Matriks<br/>volum<br/>[l/m<sup>3</sup>]</b> | <b>V/C i<br/>%</b> | <b>Flyveaske<br/>i %</b> | <b>Setting<br/>time</b> |
|-------------------------|--------------------------|--|--------------------|--------------------------|-------------------------|
| LS-01-M500-W,5-S1-LS-10 | 10                       |  |                    |                          | 325.4520                |
| LS-02-M500-W,5-S1-LS-20 | 20                       |  |                    |                          | 315.3141                |
| LS-03-M500-W,5-S1-LS-30 | 30                       |  |                    |                          | 280.1816                |
| LS-04-M500-W,5-S1-LS-40 | 40                       |  |                    |                          | 270.5052                |
| LS-05-M500-W,5-S1-LS-50 | 50                       |  |                    |                          | 230.6974                |
|                         |                          |  |                    |                          |                         |
| MV-02-M450-W,4-S1       |                          | 450  |                    |                          | 277.3140                |
| MV-03-M500-W,4-S1       |                          | 500  |                    |                          | 270.7448                |
| MV-04-M550-W,4-S1       |                          | 550  |                    |                          | 339.6667                |
| MV-05-M600-W,4-S1       |                          | 600  |                    |                          | 339.0525                |
| MV-06-M650-W,4-S1       |                          | 650  |                    |                          | 359.3326                |
| MV-07-M700-W,4-S1       |                          | 700  |                    |                          | 365.2114                |
| MV-08-M475-W,4-S1       |                          | 475  |                    |                          | 220.8124                |
| MV-09-M525-W,4-S1       |                          | 525  |                    |                          | 278.0160                |
|                         |                          |  |                    |                          |                         |
| WB-02-M500-W,35-S.8     |                          |  | 0,35               |                          | 173.2562                |
| WB-03-M500-W,4-S.8      |                          |  | 0,4                |                          | 248.6476                |
| WB-04-M500-W,45-S.8     |                          |  | 0,45               |                          | 277.7162                |

|                         |    |     |      |    |          |
|-------------------------|----|-----|------|----|----------|
| WB-05-M500-W,5-S.8      |    |     | 0,5  |    | 379.1936 |
| WB-06-M500-W,55-S.8     |    |     | 0,55 |    | 397.7377 |
|                         |    |     |      |    |          |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10 |    |     |      | 10 | 243.3154 |
| FA-2-M500-W,4-S.1-FA-20 |    |     |      | 20 | 178.1782 |
| FA-3-M500-W,4-S.1-FA-30 |    |     |      | 30 | 206.5071 |
| FA-5-M500-W,4-S.1-FA-5  |    |     |      | 5  | 205.6000 |
| FA-6-M500-W,4-S.1-FA-15 |    |     |      | 15 | 206.4000 |
|                         |    |     |      |    |          |
| VC1-M450W45S1           |    | 450 | 0,45 |    | 180.0323 |
| VC2-M450W0,5S1          |    | 450 | 0,50 |    | 282.2275 |
| VC3-M550W30S1           |    | 550 | 0,30 |    | 140.0040 |
| VC4-M550W35S1           |    | 550 | 0,35 |    | 137.1831 |
| VC5-M550W45S1           |    | 550 | 0,45 |    | 378.3036 |
| VC6-M550W0,5S1          |    | 550 | 0,50 |    | 414.7862 |
| VC7-M475W0,5-S1         |    | 475 | 0,50 |    | 306.0000 |
| VC8-M475W0,55-S1        |    | 475 | 0,55 |    | 404.0000 |
| VC9-M525W0,35-S1        |    | 525 | 0,35 |    | 196.000  |
| VC11-M525W0,45-S1       |    | 525 | 0,45 |    | 454.000  |
|                         |    |     |      |    |          |
| SV1-M450-W50-LS20-SP-1  | 20 | 450 |      |    | 269.6190 |
| SV2-M450-W50-LS40-SP-1  | 40 | 450 |      |    | 160.4751 |
| SV3-M550-W50-LS20-SP0,5 | 20 | 550 |      |    | 244.4083 |
| SV4-M550-W50-LS40-SP0,5 | 40 | 550 |      |    | 128.3227 |
|                         |    |     |      |    |          |
| AV1-W4S1-M450-FA5       |    | 450 |      | 5  | 228.1539 |
| AV2-W4S1-M450-FA15      |    | 450 |      | 15 | 277.3826 |
| AV3-W4S1-M550-FA5       |    | 550 |      | 5  | 330.3542 |
| AV4-W4S1-M550-FA15      |    | 550 |      | 15 | 284.4696 |

|                           |    |  |      |    |          |
|---------------------------|----|--|------|----|----------|
| AS1-M500-W50-S1-FA5-LS20  | 20 |  |      | 5  | 141.3965 |
| AS2-M500-W50-S1-FA5-LS40  | 40 |  |      | 5  | 204.1454 |
| AS3-M500-W50-S1-FA15-LS20 | 20 |  |      | 15 | 124.6389 |
| AS4-M500-W50-S1-FA15-LS40 | 40 |  |      | 15 | 147.3282 |
|                           |    |  |      |    |          |
| SC-1M500-S01-W45-LS20     | 20 |  | 0,45 |    | 150.3729 |
| SC2-M500-S01-W45-LS40     | 40 |  | 0,45 |    | 130.8405 |
| SC3-M500-S01-W50-LS20     | 20 |  | 0,50 |    | 156.2017 |
| SC-4M500-S01-W50-LS40     | 40 |  | 0,50 |    | 112.9165 |
|                           |    |  |      |    |          |
| AC1-M500-S01-W50-FA15     |    |  | 0,50 | 15 | 303.7310 |
| AC2-M500-S01-W50-FA5      |    |  | 0,50 | 5  | 374.9226 |
| AC3-M500-S01-W45-FA5      |    |  | 0,45 | 5  | 320.8911 |
| AC4-M500-S01-W45-FA15     |    |  | 0,45 | 15 | 272.5030 |

I tabellen over ser du resultatene vi fikk for alle de forskjellige blandningene i penetrometer testen, den forteller oss hvor lenge tid det tok for betongen å herdes for hver enkelt blanding fra vannet ble tilsett.

Slik det vises i vedlegg B, setting time (initial time) er når penetrasjonsmotstanden er lik 3,5 MPA, og det finnes to måter å lese det på;

- først å tegne kurven med avlesningene og tiden, og deretter bruke kurven for å finne setting time, og det er avhengig av korrelasjonen som må være minst 0,98 og hvis større bruker vi metoden under
- tegne log-kurve mellom penetrasjon og tid, så bruker du kurven for å finne setting time.

## 6.6 Bøy og trykk analyse

*Tabell 72 Trykk og bøy analyse for LS*

| <b>Blandinger av kalkstein</b> | <b>Kalkstein<br/>i %</b> | <b>Bøyefasthet<br/>7 dager (MPA)</b> | <b>Trykkfasthet<br/>7 dager (MPA)</b> | <b>Trykkfasthet<br/>28 dager (MPA)</b> |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|
| LS-01-M500-W,5-S1-LS-10        | 10                       | 7,51                                 | 39,12                                 | 60,79                                  |
| LS-02-M500-W,5-S1-LS-20        | 20                       | 7,37                                 | 53,67                                 | 60,09                                  |
| LS-03-M500-W,5-S1-LS-30        | 30                       | 7,51                                 | 53,76                                 | 56,86                                  |
| LS-04-M500-W,5-S1-LS-40        | 40                       | 6,7                                  | 53,12                                 | 61,31                                  |
| LS-05-M500-W,5-S1-LS-50        | 50                       | 6,96                                 | 55,98                                 | 61,42                                  |

Trykkfasthet til blandingen LS05 med 50 % kalkstein, var den blandingen som tålte meste trykk kraft i både (7 og 28) dager og det vil si at den blandingen har gode mekaniske egenskaper i sammenligning med de andre blandingene. Samtidig, tålte den ikke mest i bøyestrekk kraften. (Se fig. 16 og 17).

*Tabell 73 Trykk og bøy analyse for MV*

| <b>Blandinger av<br/>kalkstein</b> | <b>Matriks<br/>volum</b> | <b>Bøyefasthet<br/>7 dager</b> | <b>Trykkfasthet 7<br/>dager</b> | <b>Trykkfasthet<br/>28 dager</b> |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| MV-02-M450-W,4-S1                  | 450                      | 4,84                           | 32,33                           | 45,29                            |
| MV-03-M500-W,4-S1                  | 500                      | 9,56                           | 59,55                           | 64,48                            |
| MV-04-M550-W,4-S1                  | 550                      | 7,54                           | 66,94                           | 84,00                            |
| MV-05-M600-W,4-S1                  | 600                      | 9,09                           | 65,25                           | 63,63                            |
| MV-06-M650-W,4-S1                  | 650                      | 8,1                            | 62,86                           | 68,95                            |
| MV-07-M700-W,4-S1                  | 700                      | 9,96                           | 64,82                           | 64,25                            |
| MV-08-M475-W,4-S1                  | 457                      | 8,42                           | 48,70                           | 59,85                            |
| MV-09-M525-W,4-S1                  | 526                      | 8,39                           | 61,53                           | 66,06                            |

I tabellen over ser vi at i MV04 tålte den mest i trykk både i 7 og 28 dager, som sier at den hadde gode mekaniske egenskaper, men den tålte 7,54 MPA i bøyestrekk kraft. Grunnen til det er økning i matriksvolum fører til økning i fasthet.

*Tabell 74 Trykk og bøy analyse for V/C*

| Navn på miks design | V/C i % | Bøy 7 dager | Trykk 7 dager | Trykk 28 dager |
|---------------------|---------|-------------|---------------|----------------|
| WB-02-M500-W,35-S.8 | 0,35    | 3,042       | 50,33         | 48,89          |
| WB-03-M500-W,4-S.8  | 0,40    | 3,531       | 61,17         | 45,26          |
| WB-04-M500-W,45-S.8 | 0,45    | 3,484       | 57,83         | 54,07          |
| WB-05-M500-W,5-S.8  | 0,50    | 3,234       | 50,49         | 51,84          |
| WB-06-M500-W,55-S.8 | 0,55    | 3,112       | 52,02         | 53,63          |

I tabellen over ser vi at i WB02 tålte den mest i trykk 7 dager 50,33 MPA mer enn i trykk 28 dager 48,89 MPA, som sier at den hadde dårlig mekaniske egenskaper, og den tålte minst i bøyestrekke kraft på 3,042 MPA i 7 dager. Ved reduksjon av v/c tallet blir fastheten mindre.

*Tabell 75 Trykk og bøy analyse for FA*

| Navn på miks design     | Flyveaske i % | Bøy 7 dager | Trykk 7 dager | Trykk 28 dager |
|-------------------------|---------------|-------------|---------------|----------------|
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10 | 10            | 9,06        | 64,56         | 63,67          |
| FA-2-M500-W,4-S.1-FA-20 | 20            | 7,50        | 29,70         | 32,60          |
| FA-3-M500-W,4-S.1-FA-30 | 30            | 2,96        | 29,13         | 28,85          |
| FA-5-M500-W,4-S.1-FA-5  | 5             | 8,94        | 57,92         | 53,08          |
| FA-6-M500-W,4-S.1-FA-15 | 15            | 7,27        | 52,79         | 56,95          |

Basert på resultatene for trykk 7 og 28 dager, ser vi at økning i flyveaske gir mindre fasthet i blandingen siden betongen er tørr. Vi ser det også i bøy at kraften ble målt på 9,06 MPA.

*Tabell 76 Trykk og bøy analyse for MV-VC*

| Navn på miks design | Matrix volum | VC % | Bøy 7 dager | Trykk 7 dager | Trykk 28 dager |
|---------------------|--------------|------|-------------|---------------|----------------|
| VC1-M450W45S1       | 450          | 0,45 | 6,87        | 34,02         | 37,64          |
| VC2-M450W0,5S1      | 450          | 0,50 | 6,44        | 44,82         | 46,80          |
| VC3-M550W30S1       | 550          | 0,30 | 10,80       | 67,88         | 69,09          |

|                   |     |      |      |       |       |
|-------------------|-----|------|------|-------|-------|
| VC4-M550W35S1     | 550 | 0,35 | 8,61 | 57,76 | 59,40 |
| VC5-M550W45S1     | 550 | 0,45 | 8,47 | 50,53 | 64,01 |
| VC6-M550W0,5S1    | 550 | 0,50 | 6,40 | 42,37 | 48,74 |
| VC7-M475W0,5-S1   | 475 | 0,50 | 7,12 | 47,43 | 43,47 |
| VC8-M475W0,55-S1  | 475 | 0,55 | 6,87 | 45,64 | 46,65 |
| VC9-M525W0,35-S1  | 525 | 0,35 | 9,35 | 59,11 | 59,44 |
| VC11-M525W0,45-S1 | 525 | 0,45 | 8,02 | 56,45 | 60,76 |

Resultatene over for blanding av MV-VC, ser vi i VC3 at med økning i matriksvolum og reduksjon i v/c, får blandingen økt fasthet i både trykk og bøy.

**Tabellen nedenfor viser resultatene for bøy og trykk test i LS-MV**

*Tabell 77 Trykk og bøy analyse for LS-MV*

| <b>Blandinger av LS- MV</b> | <b>Matrix volum</b> | <b>Kalkstein i %</b> | <b>Bøy 7 dager</b> | <b>Trykk 7 dager</b> | <b>Trykk 28 dager</b> |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| SV1-M450-W50-LS20-SP-1      | 450                 | 20                   | 7,81               | 50,99                | 53,54                 |
| SV2-M450-W50-LS40-SP-1      | 450                 | 40                   | 5,81               | 39,92                | 38,81                 |
| SV3-M550-W50-LS20-SP0,5     | 550                 | 20                   | 7,32               | 47,79                | 50,33                 |
| SV4-M550-W50-LS40-SP0,5     | 550                 | 40                   | 7,45               | 50,44                | 51,79                 |

Resultatene over for blanding av LS-MV, forteller oss at når vi øker kalkstein får blandingen mindre fasthet siden den er sement erstattende material, men når vi øker matriksvolum får vi større fasthet.

*Tabell 78 Trykk og bøy analyse for FA-MV*

| <b>Blandinger av FA-MV</b> | <b>Matrix volum</b> | <b>Flyveaske</b> | <b>Bøy 7 dager</b> | <b>Trykk 7 dager</b> | <b>Trykk 28 dager</b> |
|----------------------------|---------------------|------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| AV1-W4S1-M450-FA5          | 450                 | 5                | 6,38               | 47,27                | 39,52                 |
| AV2-W4S1-M450-FA15         | 450                 | 15               | 2,38               | 11,84                | 12,37                 |
| AV3-W4S1-M550-FA5          | 550                 | 5                | 8,65               | 52,56                | 22,84                 |

|                    |     |    |      |       |       |
|--------------------|-----|----|------|-------|-------|
| AV4-W4S1-M550-FA15 | 550 | 15 | 8,49 | 61,12 | 63,71 |
|--------------------|-----|----|------|-------|-------|

Resultatene over for blanding av FA-MV, forteller oss at når vi øker flyveaske får blandingen mindre fasthet siden den er sement erstattende material, men når vi øker matriksvolum får vi større fasthet.

*Tabell 79 Trykk og bøy analyse for FA-LS*

| <b>Blandinger av FA-LS</b> | <b>Kalkstein<br/>i %</b> | <b>Flyveaske<br/>%</b> | <b>Bøy 7<br/>dager</b> | <b>Trykk<br/>7 dager</b> | <b>Trykk<br/>28 dager</b> |
|----------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| AS1-M500-W50-S1-FA5-LS20   | 20                       | 5                      | 5,88                   | 44,09                    | 43,12                     |
| AS2-M500-W50-S1-FA5-LS40   | 40                       | 5                      | 2,81                   | 15,32                    | 24,37                     |
| AS3-M500-W50-S1-FA15-LS20  | 20                       | 15                     | 4,84                   | 27,92                    | 24,06                     |
| AS4-M500-W50-S1-FA15-LS40  | 40                       | 15                     | 5,31                   | 21,24                    | 49,17                     |

Resultatene over for blanding av FA-LS, forteller oss at når vi øker begge blandingene flyveaske og kalkstein får vi mindre fasthet siden de er sement erstattende materialer og de gjør blandingen ganske tørr.

*Tabell 80 Trykk og bøy analyse for LS-VC*

| <b>Blandinger av LS-V/C</b> | <b>Kalkstein</b> | <b>V/C</b> | <b>Bøy 7<br/>dager</b> | <b>Trykk<br/>7 dager</b> | <b>Trykk<br/>28 dager</b> |
|-----------------------------|------------------|------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| SC-1M500-S01-W45-LS20       | 20               | 0,45       | 4,70                   | 22,25                    | 19,02                     |
| SC2-M500-S01-W45-LS40       | 40               | 0,45       | 2,83                   | 15,97                    | 16,07                     |
| SC3-M500-S01-W50-LS20       | 20               | 0,50       | 6,57                   | 46,24                    | 43,03                     |
| SC-4M500-S01-W50-LS40       | 40               | 0,50       | 4,60                   | 34,43                    | 22,69                     |

Resultatene over for blanding av LS-VC, forteller oss at når vi øker kalkstein får blandingen mindre fasthet siden den er sement erstattende material, men når vi øker v/c får vi større fasthet i blandingen.



Tabell 81 Trykk og bøy analyse for FA-VC

| Blandinger av FA-VC   | Flyveaske | V/C % | Bøy 7 dager | Trykk 7 dager | Trykk 28 dager |
|-----------------------|-----------|-------|-------------|---------------|----------------|
| AC1-M500-S01-W50-FA15 | 15        | 0,50  | 8,03        | 49,39         | 60,03          |
| AC2-M500-S01-W50-FA5  | 5         | 0,50  | 7,79        | 50,07         | 32,44          |
| AC3-M500-S01-W45-FA5  | 5         | 0,45  | 7,90        | 27,30         | 38,32          |
| AC4-M500-S01-W45-FA15 | 15        | 0,45  | 8,26        | 29,14         | 42,36          |

Resultatene over for blanding av FA-VC, forteller oss at når vi øker flyveaske får blandingen mindre fasthet siden den er sement erstattende material, men når vi øker v/c får vi større fasthet i blandingen.

## 6.7 Analyse av maskinlærling

Vi skal sammenligne resultatene på det som vi har fått i laboratoriet og det som vi har fått i både neural Network og lineær regresjon.

### 6.7.1 Flow table resultater

Tabell 82 maskinlærling flow table resultat

| Miks design                 | Neural Network prediksjon | lineær regresjon prediksjon | Lab resultater |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-FA5     | 15.72                     | 18.67                       | 19,13          |
| AS1- M500-W50- S1 -FA5-LS20 | 14.63                     | 15.85                       | 11,83          |
| WB-02-M500-W,35-S.8         | 14.82                     | 11.33                       | 12,2           |

|                              |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| AC4 - M500-S01 -W45-<br>FA15 | 14.96 | 16.05 | 14,51 |
| VC5-M550W45S1                | 16.12 | 19.31 | 21,67 |
| VC4-M550W35S1                | 14.96 | 14.09 | 11,29 |
| LS-13                        | 13.90 | 12.63 | 14,01 |
| AV1- W4S1-M450-FA5           | 13.37 | 10.98 | 10,38 |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-<br>10  | 13.77 | 12.64 | 13,71 |

## 6.7.2 Sylinder resultater

*Tabell 83 Maskinlærling sylinder resultat*

| Miks design                     | Neural Network<br>prediksjon | lineær regresjon<br>prediksjon | Lab resultater |
|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-<br>FA5     | 37.48                        | 50.88                          | 15             |
| AS1- M500-W50- S1 -<br>FA5-LS20 | 34.72                        | 39.36                          | 5              |
| WB-02-M500-W,35-S.8             | 33.21                        | 12.58                          | 0,3            |
| AC4 - M500-S01 -W45-<br>FA15    | 33.60                        | 36.72                          | 22             |
| VC5-M550W45S1                   | 38.14                        | 51.63                          | 80             |
| VC4-M550W35S1                   | 31.91                        | 23.31                          | 3              |
| LS-13                           | 32.50                        | 25.70                          | 13             |
| AV1- W4S1-M450-FA5              | 28.51                        | 13.92                          | 2              |

|                         |       |       |    |
|-------------------------|-------|-------|----|
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10 | 27.80 | 16.30 | 17 |
|-------------------------|-------|-------|----|

### 6.7.3 Green strength resultater

#### Green 0

Tabell 84 Maskinlærling Green strength resultat

| Miks design                 | Neural Network prediksjon | lineær regresjon prediksjon | Lab resultater |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-FA5     | 9.79                      | 4.33                        | 2.62           |
| AS1- M500-W50- S1 -FA5-LS20 | 13.20                     | 12.24                       | 20.02          |
| WB-02-M500-W,35-S.8         | 11.39                     | 20.10                       | 21.82          |
| AC4 - M500-S01 -W45-FA15    | 12.19                     | 10.79                       | 9.27           |
| VC5-M550W45S1               | 9.25                      | 2.28                        | 0              |
| VC4-M550W35S1               | 13.03                     | 15.20                       | 31             |
| LS-13                       | 15.51                     | 19.59                       | 17             |
| AV1- W4S1-M450-FA5          | 16.33                     | 22.70                       | 31             |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10     | 15.96                     | 20.32                       | 13.78          |

## Green 15

Tabell 85 Maskinlærling Green strenght resultat

| Miks design                     | Neural Network<br>prediksjon | lineær regresjon<br>prediksjon | Lab resultater |
|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-<br>FA5     | 10.84                        | 5.61                           | 2.72           |
| AS1- M500-W50- S1 -<br>FA5-LS20 | 13.86                        | 13.66                          | 31             |
| WB-02-M500-W,35-S.8             | 14.089982                    | 24.30                          | 28.82          |
| AC4 - M500-S01 -W45-<br>FA15    | 13.40                        | 12.69                          | 14.02          |
| VC5-M550W45S1                   | 9.14                         | 4.02                           | 0              |
| VC4-M550W35S1                   | 13.84                        | 18.18                          | 31             |
| LS-13                           | 16.60                        | 22.10                          | 20.17          |
| AV1- W4S1-M450-FA5              | 17.79                        | 25.76                          | 31             |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-<br>10     | 17.27                        | 22.43                          | 18.07          |

## 6.7.4 Penetrometer

Tabell 86 Maskinlærling penetrometer resultat

| Navn på miks design         | Neural Network prediksjon | lineær regresjon prediksjon | Lab resultater |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-FA5     | 279.233002                | 345.450265                  | 374.923        |
| AS1- M500-W50- S1 -FA5-LS20 | 253.140213                | 266.505601                  | 141.397        |
| WB-02-M500-W,35-S.8         | 252.351440                | 186.145917                  | 173.256        |
| AC4 - M500-S01 -W45-FA15    | 269.730164                | 297.494644                  | 272.503        |
| VC5-M550W45S1               | 287.572968                | 344.816060                  | 378.661        |
| VC4-M550W35S1               | 270.995361                | 248.904819                  | 134.226        |
| LS-13                       | 239.873428                | 193.474386                  | 216.536        |
| AV1- W4S1-M450-FA5          | 244.254333                | 216.614345                  | 228.154        |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-10     | 250.180466                | 235.142285                  | 241.263        |

## 6.7.5 Trykkfasthet 7 dager

Tabell 87 Maskinlærling trykkfasthet 7dager

| Miks design                     | Neural Network<br>prediksjon | lineær regresjon<br>prediksjon | Lab resultater |
|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-<br>FA5     |                              | 44.710066                      | 50.07          |
| AS1- M500-W50- S1 -<br>FA5-LS20 |                              | 39.889919                      | 44.09          |
| WB-02-M500-W,35-S.8             |                              | 56.899279                      | 50.33          |
| AC4 - M500-S01 -W45-<br>FA15    |                              | 46.652213                      | 29.14          |
| VC5-M550W45S1                   |                              | 56.347492                      | 50.53          |
| VC4-M550W35S1                   |                              | 60.231787                      | 57.76          |
| LS-13                           |                              | 43.942064                      | 51.37          |
| AV1- W4S1-M450-FA5              |                              | 43.419154                      | 47.27          |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-<br>10     |                              | 44.074289                      | 64.56          |

## 6.7.6 Bøyefasthet 7 dager

Tabell 88 Maskinlærling bøyefasthet 7dager resultat

| Miks design                     | Neural Network<br>prediksjon | lineær regresjon<br>prediksjon | Lab resultat |
|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------|
| AC2 - M500-S01 -W50-<br>FA5     | 6.790397                     | 7.086523                       | 7.79         |
| AS1- M500-W50- S1 -<br>FA5-LS20 | 6.422942                     | 6.234340                       | 5.88         |
| WB-02-M500-W,35-S.8             | 7.605022                     | 8.421786                       | 7.13         |
| AC4 - M500-S01 -W45-<br>FA15    | 6.989513                     | 7.305325                       | 8.26         |
| VC5-M550W45S1                   | 7.425686                     | 8.354599                       | 8.47         |
| VC4-M550W35S1                   | 7.677598                     | 8.792202                       | 8.61         |
| LS-13                           | 6.494591                     | 6.509246                       | 8.42         |
| AV1- W4S1-M450-FA5              | 6.688487                     | 6.957048                       | 6.38         |
| FA-1-M500-W,4-S.1-FA-<br>10     | 6.989243                     | 7.041930                       | 9.06         |

## 7 Konklusjon

Formålet med oppgaven er å teste forskjellige parametere, for å velge hvilken blanding som kan være aktuell og kan bli brukt i en 3D-printing maskin. Vi har i tillegg utviklet en modell, som datamaskinen kan korrigere proporsjoneringen for. Vi har også brukt en eksisterende kode i Python som kan gi resultatene for framtidige blandinger av de forskjellige parameterne uten å utføre de testene. Det vil si at du bare kan gjøre miksene dine klar for proporsjonering og sette tallene inn i Python og du får resultatene i alle de forskjellige testene.

Etter å ha forsøkt mange sement blandinger i alle tester for å bestemme egenskapene til hver blanding, tok vi i betraktning faktorer som styrken, viskose, bearbeidbarhet, og extrudability. Vi kan konkludere med at alle de testene har sammenheng med hverandre etter vi har analyserte alle resultatene til de forskjellige testene.

Vi kan se ut ifra resultatene i SV4, at den ga veldig gode resultater i alle de forskjellige testene, siden den hadde god flytbarhet, styrke og fasthet.

Etter å ha maskinlæring modell, så har vi fått noen taller som være tilnærmet de aktuelle resultatene vi har fått i vår lab forsøk. Maskin læring har også utgitt avvik på noen av de testene, men i alt kan man bruke de kodene for videre utvikling for å få bedre resultater.



# Vedlegg

A- Resultatene i Excel fil

B- Proposjonering og Resept

C- Pre-tester rapport

D- Hoved-tester rapport

E- Maskinlæring

# Litteraturliste

- Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., & Salet, T. (2016). Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 11(3), 209-225.
- Kazemian, A., Yuan, X., Cochran, E., & Khoshnevis, B. (2017). Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture. *Construction and Building Materials*, 145, 639-647.
- Maage, M., & NORHEIM, B. (2015). Betong-regelverk, teknologi og utførelse. *UTGAVE. OSLO: NORSK BETONGFORENING OG BYGGENÆRINGENS FORLAG*.
- Rahul, A., Santhanam, M., Meena, H., & Ghani, Z. (2019). 3D printable concrete: Mixture design and test methods. *Cement and Concrete Composites*, 97, 13-23.
- Sarkar, D., Bali, R., & Ghosh, T. (2018). *Hands-On Transfer Learning with Python: Implement advanced deep learning and neural network models using TensorFlow and Keras*: Packt Publishing Ltd.
- Tay, Y. W. D., Li, M. Y., & Tan, M. J. (2019). Effect of printing parameters in 3D concrete printing: printing region and support structures. *Journal of Materials Processing Technology*, 271, 261-270.
- Zhang, Y., Zhang, Y., Liu, G., Yang, Y., Wu, M., & Pang, B. (2018). Fresh properties of a novel 3D printing concrete ink. *Construction and Building Materials*, 174, 263-271.

---

<sup>1</sup> [AM Basics | Additive Manufacturing \(AM\)](#)

<sup>2</sup> [Innen 2025 skal 25 prosent av nybyggene i Dubai være 3D-printet. Nå har de fått verdens største betongprinter - Tu.no](#)

<sup>3</sup> [Skanska – Store norske leksikon \(snl.no\)](#)

<sup>4</sup> [I Holland printer de broer | 3dpnorge.no](#)

<sup>5</sup> [I Holland printer de broer | 3dpnorge.no](#)

<sup>6</sup> [Commercial 3D printed house in the US now on sale for \\$300,000 » 3dpbm \(3dprintingmedia.network\)](#)

<sup>7</sup> [Maior ponte peatonal feita de concreto e impressão 3D é concluída na China | ArchDaily Brasil](#)

<sup>8</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=2BGoXcDRy2s>

---

<sup>9</sup> [Maior ponte peatonal feita de concreto e impressão 3D é concluída na China | ArchDaily Brasil](#)

<sup>10</sup> [PHP – Wikipedia](#)

<sup>11</sup> [Flyveaske – Store norske leksikon \(snl.no\)](#)

<sup>12</sup> [Norcem | Flyveaske](#)

<sup>13</sup> [A review of cement–superplasticizer interactions and their models | Advances in Cement Research \(icevirtuallibrary.com\)](#)

<sup>14</sup> [Superplasticizer - Wikipedia](#)

<sup>15</sup> <https://brettboka.no/webshop/products/619>

<sup>16</sup> <https://snl.no/kalkstein>

<sup>17</sup> [kalkstein – Store norske leksikon \(snl.no\)](#)

<sup>18</sup> [kalkstein \(uio.no\)](#)

<sup>19</sup> [https://www.byggforsk.no/dokument/285/viktige\\_parametrer\\_for\\_prosjektering\\_og\\_utfoerelse\\_av\\_bestandige\\_betongkonstruksjoner#i2](https://www.byggforsk.no/dokument/285/viktige_parametrer_for_prosjektering_og_utfoerelse_av_bestandige_betongkonstruksjoner#i2)